



TUGAS AKHIR - MO.141326

**ANALISIS PENGARUH VARIASI URUTAN PENGELASAN
TERHADAP TEGANGAN SISA DAN DISTORSI PADA
PENGELASAN SMAW SAMBUNGAN TUBULAR Y DENGAN
METODE ELEMEN HINGGA**

NOVI ANANDA QURROTA AKYUN

NRP. 4312100063

Dosen Pembimbing :

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



FINAL PROJECT - MO.141326

ANALYSIS OF WELDING SEQUENCE EFFECTS ON RESIDUAL STRESS AND DISTORTION USING SMAW FOR TUBULAR Y-JOINT WITH FINITE ELEMENT METHOD

NOVI ANANDA QURROTA AKYUN

NRP. 4312100063

Supervisors :

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Marine Technology Faculty

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016

**ANALISA PENGARUH VARIASI URUTAN PENGELASAN TERHADAP
TEGANGAN SISA DAN DISTORSI PADA PENGELASAN SMAW
SAMBUNGAN TUBULAR Y DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Novi Ananda Qurrota Akyun

NRP. 4312 100 063

Disetujui oleh:

1. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

(Pembimbing 1)

2. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

(Pembimbing 2)

3. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc.

(Penguji 1)

4. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D.

(Penguji 2)

5. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng., Ph.D.

(Penguji 3)

SURABAYA, JULI 2016

**ANALISA PENGARUH VARIASI URUTAN PENGELASAN TERHADAP
TEGANGAN SISA DAN DISTORSI PADA PENGELASAN SMAW
SAMBUNGAN TUBULAR Y DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

Nama Mahasiswa : Novi Ananda Qurrota Akyun
NRP : 4312100063
Jurusan : Teknik Kelautan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.
Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Komponen tubular sangat banyak digunakan pada struktur anjungan lepas pantai. Proses pengelasan merupakan proses dimana komponen-komponen tubular tersebut disatukan menjadi sambungan tubular, salah satunya sambungan tubular tipe Y. Pada saat proses pengelasan, karena logam menerima distribusi panas yang tidak merata dan pemuatan yang tidak merata pada logam, menyebabkan terjadinya distorsi dan tegangan sisa. Distorsi dan tegangan sisa pada hasil pengelasan akan memberikan dampak yang merugikan bagi struktur, untuk mengurangi tegangan sisa dan distorsi salah satunya yaitu dengan memilih urutan pengelasan (*welding sequence*) yang tepat. Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan simulasi pengelasan sambungan tubular tipe Y dengan menggunakan *software* berbasis elemen hingga. Spesifikasi material yang digunakan adalah ASTM A106 Gr. B dengan menggunakan pengelasan SMAW dengan variasi urutan pengelasan. Dengan simulasi tersebut diketahui tegangan sisa dan distorsi untuk setiap variasi urutan pengelasan dan diketahui jenis urutan pengelasan yang menghasilkan tegangan sisa dan distorsi terkecil. Urutan pengelasan loncat diketahui memiliki besar tegangan dan distorsi yang paling minimum yaitu pada bagian *chord* sebesar 143.71 MPa dan 0.51 mm, sedangkan pada bagian *chord* sebesar 135.13 MPa dan 0.99 mm.

Kata Kunci—Urutan pengelasan, tegangan sisa, distorsi, SMAW, sambungan tubular, elemen hingga

***ANALYSIS OF WELDING SEQUENCE EFFECTS ON RESIDUAL STRESS
AND DISTORTION USING SMAW FOR TUBULAR Y-JOINT WITH FINITE
ELEMENT METHOD***

Name of Student : Novi Ananda Qurrota Akyun
REG : 4312100063
Department : *Department of Ocean Engineering, Marine Technology
Faculty,
ITS*
Supervisors : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.
Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Tubular components is widely used in offshore structures. Welding process is a common process to connect two or more tubular components into a tubular joint, for example tubular Y-joint. During welding process, due to distribution and expansion to its whole metal parts, it has made a distortion and residual stress. Distortion and residual stress to welding result caused negative impact for offshore structure, and one of metode that can reduce distortion and residual stress is to choose welding sequence proper. In this final project simulated welding of tubular Y-joint by using finite element method software. Material spesification being used is ASTM A106 Gr. B using SMAW with varying welding sequence. By the simulation we can obtain residual stress and distortion for each welding sequence variations and the best welding sequence that produces the smallest residual stress and distortion. Jump sequence is has the most low value of distortion and residual stress, the value is 0.51 mm and 143.71 MPa for chord and 0.99 mm and 135.13 Mpa for brace.

Keyword—Welding sequence, residual stress, distortion, SMAW, tubular joint, finite element

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Pengelasan SMAW (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>)	6
2.2.2 Siklus Termal Las	7
2.2.3 Tegangan Sisa	11
2.2.4 Tegangan Aksial	13
2.2.5 Distorsi	14
2.2.6 Urutan Pengelasan	15
2.2.7 Metode Elemen Hingga	16
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	25

3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian	25
3.2 Parameter Pengelasan	26
3.3 Material Properti	27
3.4 Data Pemodelan Geometri	28
3.5 Input Pemodelan SolidWork pada <i>Software</i> ANSYS Mechanical APDL	29
3.6 Analisis <i>Thermal</i> pada <i>Software</i> ANSYS Mechanical APDL	30
3.6.1 Memilih <i>Preference</i>	31
3.6.2 Pemilihan Tipe Elemen	32
3.6.3 Pemilihan Tipe Elemen	32
3.6.4 <i>Meshing</i> Model	32
3.6.5 Memilih Tipe Analisis	33
3.6.6 Penentuan Referensi Temperatur	33
3.6.7 Penentuan Kondisi Batas	33
3.6.8 Proses Pembebanan <i>Heatflux</i>	34
3.6.9 Penentuan <i>Time Step</i>	34
3.6.10 Penulisan <i>Loadstep</i>	34
3.6.11 <i>Solve Loadstep</i>	35
3.6.12 Distribusi Panas	35
3.7 Analisis Struktur pada <i>Software</i> ANSYS Mechanical APDL	35
3.7.1 Ubah Tipe Elemen Menjadi Struktur	36
3.7.2 Pembacaan Data <i>Result Thermal</i>	37
3.7.3 Memilih Tipe Analisis	37
3.7.4 Penentuan Kondisi Batas	37
3.7.5 Pembacaan Loadstep Hasil Pembebanan Thermal	37
3.7.6 Penentuan <i>Time Step</i>	38
3.7.7 Penulisan <i>Loadstep</i>	38
3.7.8 <i>Solve Loadstep</i>	38
3.7.9 Tegangan Sisa	39
3.8 Pembacaan Tegangan Sisa dan Distorsi Menggunakan <i>Software</i> ANSYSWorkbench	39
3.8.1 Ubah Tipe Elemen Menjadi Struktur	40

3.8.2	Merubah Tipe Analisis	40
3.8.3	Pembacaan Hasil Analisis Struktur	40
3.8.4	<i>Solve</i> Hasil Analisis Struktur	40
3.8.5	Distorsi	41
3.9	Pemodelan dengan Variasi Urutan Pengelasan	41
BAB IV	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	43
4.1	Pemodelan Geometri	43
4.2	Menghitung Beban Heat Flux	45
4.3	Kondisi Pemodelan.....	47
4.3.1	Kondisi Pemodelan Analisis Termal	47
4.3.2	Kondisi Pemodelan Analisis Struktural	49
4.4	<i>Meshing</i> Sensitivity Analysis	50
4.5	Validasi Model	54
4.5.1	Validasi Hasil Analisis Termal	55
4.5.2	Validasi Hasil Analisis Struktural	57
4.6	Analisis Struktur Variasi Urutan Pengelasan Menerus	59
4.7	Analisis Struktur Variasi Urutan Pengelasan Simetri	62
4.8	Analisis Struktur Variasi Urutan Pengelasan Loncat	65
4.9	Perbandingan Hasil Analisis dan Penentuan Urutan Pengelasan Terbaik	68
BAB V	PENUTUP	
5.1	Kesimpulan	
5.2	Saran	
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN-LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Nilai koefisien efisiensi pengelasan	9
Tabel 3.1. Parameter Pengelasan	26
Tabel 3.1. Parameter Pengelasan (lanjutan)	27
Tabel 3.2. Strength Properties ASTM A106 Grade B	27
Tabel 3.3. Thermal Properties ASTM A106 Grade B	27
Tabel 3.4. Mechanical Properties ASTM A106 GRADE B	27
Tabel 3.4. Mechanical Properties ASTM A106 GRADE B (lanjutan)	28
Tabel 3.5. Data Geometri Model	28
Tabel 4.1. Data Geometri Model	43
Tabel 4.2. <i>Load step</i> simulasi pengelasan	48
Tabel 4.2. <i>Load step</i> simulasi pengelasan (lanjutan)	49
Tabel 4.3. Tegangan maksimal yang terjadi pada tiap variasi elemen	53
Tabel 4.4. Perbandingan hasil analisis sesuai variasi urutan pengelasan	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema pengelasan SMAW	6
Gambar 2.2 Skema peralatan pengelasan SMAW	7
Gambar 2.3 Skema siklus termal selama proses pengelasan	8
Gambar 2.4 Gambar distribusi panas secara konduksi pada saat pengelasan ...	9
Gambar 2.5 Skema tampak atas daerah pengelasan sambungan tubular Y	11
Gambar 2.6 Skema terjadinya tegangan sisa pada proses pengelasan (a), dan pada saat pendinginan (b)	11
Gambar 2.7 Distribusi tegangan sisa pada las melingkar pada pipa	12
Gambar 2.8 Distribusi tegangan sisa pada las berbentuk lingkaran	12
Gambar 2.9 Tegangan Aksial pada suatu luasan material	13
Gambar 2.10 Macam-macam jenis distorsi las	14
Gambar 2.11 Jenis urutan pengelasan pada sambungan tubular (a) menerus, (b) simetri, dan (c) loncat	16
Gambar 2.12 Contoh <i>meshing</i> pada sambungan tubular tipe Y	18
Gambar 2.13 Geometri Elemen SOLID70	19
Gambar 2.14 Geometri Elemen SOLID90	19
Gambar 2.15 Bentuk elemen yang dapat dibentuk SOLID185	20
Gambar 2.16 Bentuk elemen yang dapat dibentuk SOLID186	21
Gambar 2.17 Vektor tegangan	22
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)	26
Gambar 3.2 Model Geometri Tubular Tipe Y pada <i>software</i> SolidWorks tampak depan (a) dan tampak samping (b)	29
Gambar 3.3 Hasil Input Model Geometri Tubular Tipe Y pada ANSYS Mechanical APDL	30
Gambar 3.4 Diagram alir analisis <i>Thermal</i> pada <i>software</i> ANSYS Mechanical APDL	30
Gambar 3.4 Diagram alir analisis <i>Thermal</i> pada <i>software</i> ANSYS Mechanical APDL (lanjutan)	31

Gambar 3.5 Diagram alir analisis <i>Structural</i> pada <i>software</i> ANSYS Mechanical APDL	35
Gambar 3.5 Diagram alir analisis <i>Structural</i> pada <i>software</i> ANSYS Mechanical APDL (lanjutan)	36
Gambar 3.6 Diagram alir analisis <i>Structural</i> pada <i>software</i> ANSYS Workbench	39
Gambar 3.7 Contoh hasil analisis struktur berupa distorsi pada <i>software</i> ANSYS Workbench	41
Gambar 3.8 Jenis urutan pengelasan yang digunakan pada tugas akhir adalah (a) menerus, (b) simetri, dan (c) loncat	42
Gambar 4.1 Model Geometri Tubular Tipe Y pada <i>software</i> SolidWorks tampak depan (a) dan tampak samping (b)	44
Gambar 4.2 Mencari panjang dan lebar area pengelasan dengan <i>software</i> SolidWork	45
Gambar 4.3 Area pembebanan panas	48
Gambar 4.4 Garis acuan pada <i>chord</i> (a) dan <i>brace</i> (b) yang digunakan pada analisis struktur	49
Gambar 4.5 Kondisi batas yang digunakan pada analisis struktur	50
Gambar 4.6 <i>Meshing</i> 1 jumlah total elemen 9415	51
Gambar 4.7 <i>Meshing</i> 2 jumlah total elemen 10827	51
Gambar 4.8 <i>Meshing</i> 3 jumlah total elemen 13448	52
Gambar 4.9 <i>Meshing</i> 4 jumlah total elemen 15868	52
Gambar 4.10 Titik acuan yang digunakan untuk <i>Meshing</i> Sensitivity Analysis	53
Gambar 4.11 Grafik tegangan maksimum pada variasi jumlah elemen untuk <i>Analisis Meshing Sensitivity</i>	54
Gambar 4.12 Ilustrasi pembebanan pengelasan tampak atas	55
Gambar 4.13 Titik acuan pertama dan kedua pada validasi analisis termal	56
Gambar 4.14 Validasi distribusi panas pada titik acuan pertama	56
Gambar 4.15 Validasi distribusi panas pada titik acuan kedua	57
Gambar 4.16 Validasi tegangan sisa aksial pada garis acuan di <i>chord</i>	58
Gambar 4.17 Validasi tegangan sisa aksial pada garis acuan di <i>brace</i>	58
Gambar 4.18 Variasi urutan pengelasan menerus	59

Gambar 4.19 Tegangan Sisa pada Sambungan Tubular Y urutan pengelasan menerus	59
Gambar 4.20 Tegangan sisa aksial pada <i>chord</i> hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan menerus	60
Gambar 4.21 Tegangan sisa aksial pada <i>brace</i> hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan menerus	60
Gambar 4.22 Distorsi pada <i>chord</i> hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan menerus	61
Gambar 4.23 Distorsi pada <i>brace</i> hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan menerus	62
Gambar 4.24 Variasi urutan pengelasan simetri	62
Gambar 4.25 Tegangan sisa aksial pada <i>chord</i> hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan simetri	63
Gambar 4.26 Tegangan Sisa pada Sambungan Tubular Y urutan pengelasan simetri	63
Gambar 4.27 Tegangan sisa aksial pada <i>brace</i> hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan simetri	64
Gambar 4.28 Distorsi pada <i>chord</i> hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan simetri	64
Gambar 4.29 Distorsi pada <i>brace</i> hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan simetri	65
Gambar 4.30 Variasi urutan pengelasan loncat	65
Gambar 4.31 Tegangan Sisa pada Sambungan Tubular Y urutan pengelasan loncat	
Gambar 4.32 Tegangan sisa aksial pada <i>chord</i> hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan loncat	66
Gambar 4.33 Tegangan sisa aksial pada <i>brace</i> hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan loncat	66
Gambar 4.34 Distorsi pada <i>chord</i> hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan loncat	67
Gambar 4.35 Distorsi pada <i>brace</i> hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan loncat	68

Gambar 4.36 Rekapitulasi grafik tegangan sisa aksial pada <i>chord</i>	69
Gambar 4.37 Rekapitulasi grafik distorsi pada <i>chord</i>	69
Gambar 4.38 Rekapitulasi grafik tegangan sisa aksial pada <i>brace</i>	70
Gambar 4.39 Rekapitulasi grafik distorsi pada <i>brace</i>	70

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A ANALISIS TERMAL ANSYS MECHANICAL APDL

LAMPIRAN B ANALISIS STRUKTURAL ANSYS MECHANICAL APDL

LAMPIRAN C PEMBACAAN TEGANGAN SISA DAN DISTORSI ANSYS
WORKBENCH

LAMPIRAN D DATA INPUT SOFTWARE ANSYS MECHANICAL APDL

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Penyambungan logam dengan sambungan las banyak digunakan dalam berbagai bidang manufaktur dan industri, termasuk pada fabrikasi struktur anjungan lepas pantai. Pada struktur anjungan lepas pantai terutama bagian *jacket*, dimana pada bagian ini banyak terdapat *tubular member* sebagai elemen utama strukturnya. *Tubular member* dihubungkan menjadi material yang disebut sambungan *tubular*. Terdapat berbagai macam jenis tipe sambungan *tubular* yang digunakan pada struktur *jacket*, salah satu yang sering digunakan pada struktur *jacket* adalah sambungan *tubular* tipe-Y.

Tubular member terutama digunakan untuk menahan beban struktur diatasnya karena bentuknya yang berongga dan sangat efektif menghasilkan daya apung (Mirtaheri, Masoud: dkk, 2009). Untuk menggabungkan antar *tubular member* diperlukannya pengaplikasian pengelasan. Menurut AWS (*American Welding Society*), proses pengelasan adalah bergabungnya dua bahan logam yang menghasilkan perpaduan bahan dengan cara memanaskannya hingga suhu cair/pengelasan bahan dan atau tanpa menggunakan tekanan maupun material *filler* (elektroda). Terdapat berbagai macam jenis proses pengelasan, seperti jenis pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), dimana jenis pengelasan SMAW ini sangat umum digunakan pada fabrikasi struktur anjungan lepas pantai.

Pada saat proses pengelasan berlangsung, sumber panas berjalan terus dan temperature daerah yang dilas akan berubah terus-menerus sehingga menyebabkan perbedaan distribusi temperatur pada logam yang tidak sama. Oleh karena itu terjadi pemuaian dan penyusutan yang tidak merata antara bagian logam yang dilas dengan tidak dilas. Konsekuensinya adalah terjadinya peregangan di daerah lasan yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan bentuk secara permanen atau distorsi. Regangan tersebut dapat menimbulkan tegangan yang sifatnya permanen, yang disebut tegangan sisa. Tegangan sisa tersebut dapat menimbulkan dampak lain yaitu terjadinya distorsi.

Adanya tegangan sisa dan distorsi tersebut sangat merugikan desain struktur karena dapat menimbulkan konsentrasi tegangan dan bentuk yang tidak sesuai dengan desain yang diharapkan. Oleh karena itu diperlukan studi lebih lanjut untuk mengetahui cara meminimalisir tegangan sisa dan distorsi yang terjadi, salah satunya dengan melihat pengaruh *welding sequence* (urutan pengelasan) terhadap tegangan sisa dan distorsi.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah yang diambil dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana distribusi panas pada sambungan tubular tipe Y setelah pengelasan?
2. Bagaimana distorsi dan tegangan sisa yang terjadi pada sambungan tubular tipe Y setelah pengelasan?
3. Bagaimana urutan pengelasan yang tepat untuk meminimalisir tegangan sisa dan distorsi pada sambungan las tubular tipe Y?

1.3 TUJUAN

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui distribusi panas yang terjadi pada sambungan tubular tipe Y setelah pengelasan.
2. Mengetahui bentuk distorsi dan besar tegangan sisa pada sambungan tubular tipe Y setelah pengelasan.
3. Mengetahui urutan pengelasan yang tepat untuk meminimalisir tegangan sisa dan distorsi pada sambungan las tubular tipe Y.

1.4 MANFAAT

Manfaat yang bisa didapatkan dalam tugas akhir ini diharapkan dapat mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi tegangan sisa dan distorsi pada sambungan las tubular tipe Y serta diperoleh cara atau metode yang tepat untuk meminimalkan tegangan sisa dan distorsi yang terjadi dengan pemilihan urutan pengelasan yang tepat.

1.5 BATASAN MASALAH

Batasan masalah yang digunakan dalam tugas akhir ini antara lain:

1. Jenis material yang digunakan adalah sambungan las tubular tipe Y
2. Spesifikasi material yang digunakan adalah ASTM A106 Gr. B
3. Proses pengelasan menggunakan SMAW (*Shielding Metal Arc Welding*)
4. Material pengisi tidak dimodelkan
5. Pengelasan dilakukan tanpa adanya *pre heating* dan *post heating*
6. Salah satu bagian ujung *chord* tubular tipe Y diasumsikan *fixed*
7. Variasi urutan pengelasan yang digunakan yaitu menerus, simetri, dan loncat.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan tugas akhir ini dimulai dari Bab I (satu) yaitu pendahuluan yang menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang akan dicapai dalam tugas akhir ini, manfaat yang diperoleh dari tercapainya tujuan, serta batasan masalah untuk membatasi analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini.

Pada Bab II (dua), yang berisi tinjauan pustaka dan dasar teori menjelaskan tentang referensi dan juga dasar-dasar teori pendukung yang digunakan sebagai acuan atau pedoman dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Referensi tersebut dapat berupa jurnal lokal maupun internasional, literatur, *rules/code* dan juga buku yang berkaitan dengan topik yang berhubungan dengan pengaruh variasi urutan pengelasan terhadap tegangan sisa dan distorsi pada pengelasan SMAW sambungan tubular Y dengan metode elemen hingga.

Pada bab berikutnya yaitu Bab III (tiga), berisi tentang alur pengerjaan tugas akhir ini yang dijelaskan dalam bentuk diagram alir atau *flow chart* yang disusun secara sistematis yang dilengkapi pula dengan data-data penelitian serta penjelasan detail untuk setiap langkah pengerjaannya. Pada bab ini dijelaskan juga antara lain proses melakukan permodelan dimulai dengan bantuan *software SolidWork* dan *ANSYS* untuk membuat model penelitian tugas akhir ini untuk kemudian pemberian beban pengelasan lalu divariasikan sesuai dengan penelitian tugas akhir ini.

Pada bab IV (empat) yaitu menjelaskan tentang analisis dan pembahasan yang isinya dimulai dari pengolahan data yang sudah diperoleh, berupa data dari parameter model dan parameter pengelasan. Selanjutnya, dalam bab ini juga dilakukan pembahasan dan pengolahan *output* yang diperoleh dari hasil *running software ANSYS* yang mencakup analisis distribusi panas, tegangan sisa, dan distorsi. Selanjutnya dilakukan penganalisisan perbedaan hasil sebelumnya dengan menggunakan variasi yang berbeda.

Pada bab V berisi kesimpulan dan saran dimana kesimpulan merupakan uraian singkat dari keseluruhan hasil analisis, kesimpulan ini berisi jawaban-jawaban dari rumusan masalah yang disebutkan pada Bab I. Sedangkan saran digunakan sebagai masukan dari penulis yang ditujukan untuk referensi peneliti-peneliti terkait selanjutnya.

Pada bagian terakhir dalam tugas akhir ini yaitu daftar pustaka yang menampilkan informasi-informasi seluruh referensi yang digunakan selama penelitian tugas akhir dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Tegangan sisa dan distorsi merupakan fenomena yang umum terjadi sebagai dampak yang timbul setelah proses pengelasan terjadi. Analisis tentang tegangan sisa dan distorsi pada hasil pengelasan sangat dibutuhkan untuk menunjang keperluan desain struktur terutama anjungan lepas pantai. Karena tegangan sisa yang tinggi dan distorsi yang tidak dapat diminimalisir dapat menimbulkan kerugian desain struktur seperti dapat menimbulkan konsentrasi tegangan dan bentuk yang tidak sesuai dengan desain yang diharapkan.

Fu, dkk (2013) telah melakukan penelitian mengenai dampak urutan pengelasan terhadap tegangan sisa pada struktur pipa octagonal yang di las pada plat aluminium dengan variasi sembilan urutan pengelasan. Penelitian tersebut dilakukan dengan finite element model 3D dan tipe pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) single pass dalam dan luar pipa, didapatkan hasil bahwa terdapat perbedaan tegangan sisa yang signifikan pada tiap urutan pengelasan, namun tidak selalu menambahkan jumlah urutan pengelasan dapat mengurangi tegangan sisa.

Analisis mengenai dampak urutan pengelasan terhadap tegangan sisa dan deformasi juga dilakukan oleh Arga (2009) dengan jenis struktur yang berbeda yaitu pipa yang menembus plat, dengan variasi tiga urutan pengelasan yaitu menerus, simetri dan loncat. Dari analisis tersebut didapatkan hasil bahwa besar tegangan sisa dan deformasi pada struktur pipa yang menembus plat bernilai paling kecil yaitu dengan jenis urutan pengelasan loncat.

Awang (2009) juga berpendapat bahwa salah satu cara meminimalisasi deformasi dan tegangan sisa pada suatu struktur yaitu dengan menentukan urutan pengelasan yang tepat. Dalam penelitiannya yang menggunakan model struktur pengelasan pada pipa sambungan-T, didapatkan hasil bahwa diantara

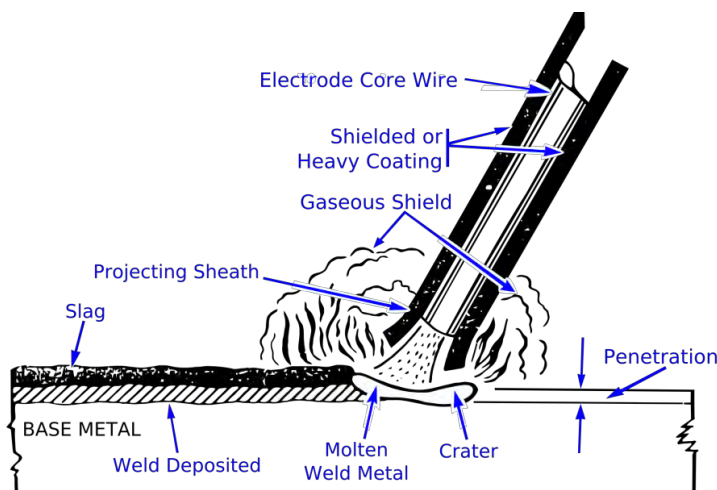
urutan pengelasan menerus, simetri dan loncat yang paling minimum yaitu dengan urutan pengelasan loncat dan yang paling maksimum pada urutan pengelasan menerus.

Oleh karena itu, untuk menunjang penelitian-penelitian terkait tegangan sisa dan distorsi pada bagian struktur anjungan lepas pantai, perlu adanya dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pemilihan urutan pengelasan.

2.2 DASAR TEORI

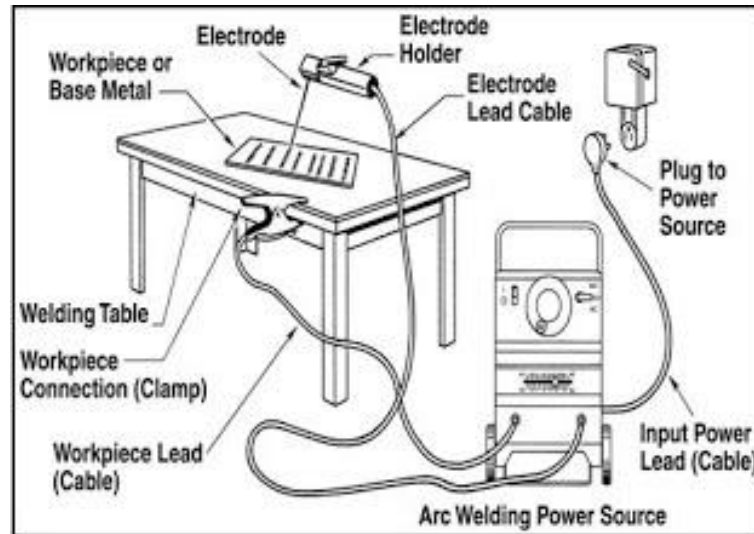
2.2.1 Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Pengelasan SMAW atau biasa disebut dengan las batang, dimana jenis pengelasan ini umum digunakan pada dunia pengelasan karena dapat diaplikasikan di hampir semua jenis pengelasan material. Las SMAW adalah teknik las manual yang memanfaatkan listrik sebagai sumber panas dari elektroda yang terdiri dari material pengisi yang terbungkus oleh *flux*, dimana material pengisi tersebut berfungsi sebagai material penyambung antara dua logam dan *flux* berfungsi untuk melindungi hasil pengelasan dari proses oksidasi yang dapat menimbulkan cacat las, ilustrasi SMAW seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Skema pengelasan SMAW

Peralatan-peralatan yang digunakan pada pengelasan SMAW dapat dilihat pada Gambar 2.2.



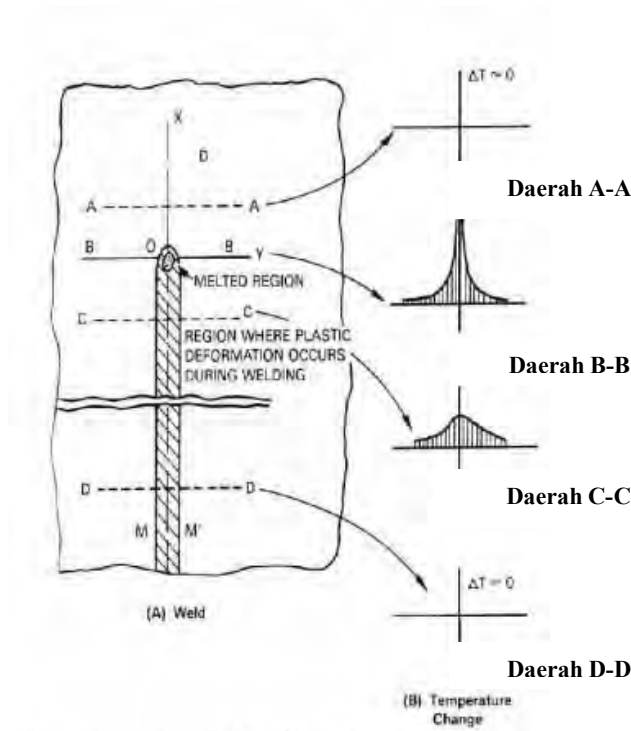
Gambar 2.2. Skema peralatan pengelasan SMAW

2.2.2 Siklus Termal Las

Pada proses pengelasan, daerah yang mengalami kontak langsung dengan busur las memiliki temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah di dekatnya. Karena sifat konduksi logam, panas mulai mengalir ke sekitar daerah pengelasan yang mempunyai temperatur lebih rendah sehingga terjadi distribusi panas ke daerah sekitar alur las.

Distribusi temperatur yang terjadi pada saat proses pemanasan maupun pendinginan tidak merata pada seluruh material. Distribusi yang tidak merata ini terjadi baik dalam hal tempatnya pada material maupun bila ditinjau dari segi waktu terjadinya. Distribusi temperatur tersebut dapat didiskripsikan dengan membagi daerah lasan menjadi beberapa buah potongan melintang seperti pada Gambar 2.3. berikut:

- A-A = Daerah yang belum tersentuh panas dari busur las
- B-B = Daerah yang mencair tepat pada busur las
- C-C = Daerah terjadinya deformasi plastis selama proses pengelasan
- D-D = Daerah yang sudah mengalami pendinginan.



Gambar 2.3. Skema siklus termal selama proses pengelasan. (Wiryosumarto, 1996)

Tidak semua energi panas yang terbentuk dari perubahan energi listrik diserap 100% oleh logam lasan, akan tetapi hanya sebagian besar saja. Sehingga energi busur las dapat ditulis sebagai berikut (Pilipenko, 2001):

$$Q = \eta \times U \times I \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana:

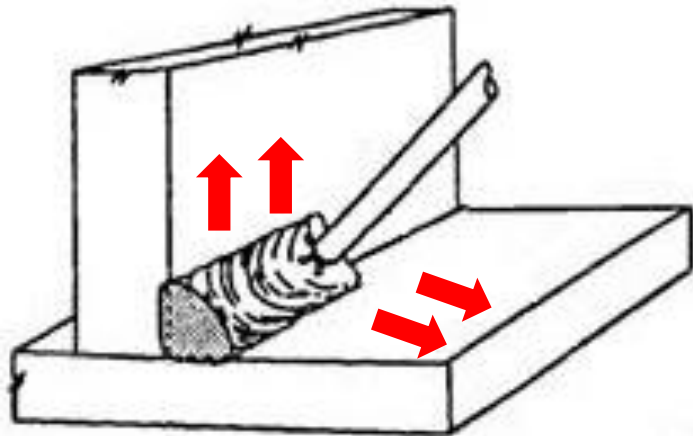
- Q = Heat input bersih (Watt)
- η = Koefisien efisiensi pengelasan (-)
- U = Tegangan Busur (Volt)
- I = Arus listrik (Ampere)

Nilai koefisien efisiensi pengelasan akan berbeda untuk setiap jenis pengelasannya, seperti yang terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Nilai koefisien efisiensi pengelasan

Jenis Pengelasan	η
SAW – Steel	0,91 – 0,99
SMAW – Steel	0,66 – 0,85
GMAW – CO ₂ ; Steel	0,75 – 0,93
GMAW – Ar ; Steel	0,66 – 0,77
GTAW – Ar ; Steel	0,25 – 0,75
GTAW – He ; Al	0,50 – 0,80
GTAW – Ar ; Al	0,22 – 0,46

Distribusi panas yang terjadi selama proses pengelasan ialah distribusi panas secara konduksi dan konveksi. Distribusi panas secara konduksi pada saat pengelasan ialah dimana pada saat panas dari las mengenai logam induk dan panas tersebut menyebar ke seluruh bagian logam secara merata seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Gambar distribusi panas secara konduksi pada saat pengelasan

Sedangkan konveksi merupakan perpindahan panas disertai dengan perpindahan partikel, pada umumnya terjadi pada fluida (cairan dan gas). Pada proses pengelasan, distribusi panas secara konveksi terjadi dengan udara luar di sekitar proses pengelasan terjadi. Pada proses pengelasan terdapat istilah *heat flux* dimana merupakan laju perpindahan energi panas pada suatu permukaan per

satuan waktu. *Heat flux* dapat mempengaruhi transfer panas pada distribusi temperature saat pengelasan, dapat dihitung dengan persamaan

$$q_1 = q_e \frac{A_1}{A_f} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

q_1 : *heat flux* pada elemen (J/mm^2)

q_e : *heat flux* yang dihasilkan elektroda (J/mm^2)

A_1 : luas permukaan elemen (mm^2)

A_f : luasan fluks yang dihasilkan elektroda (mm^2)

Dengan luasan fluks yang dihasilkan elektroda dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_f = b \cdot v \cdot t \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

b : Panjang kaki las (mm)

v : Kecepatan pengelasan (mm/s)

t : Waktu yang diperlukan pada satu elemen (s)

Dengan diperoleh terlebih dahulu rumus q_e sebagai berikut:

$$q_e = \frac{Q}{A_e} \dots\dots\dots (2.4)$$

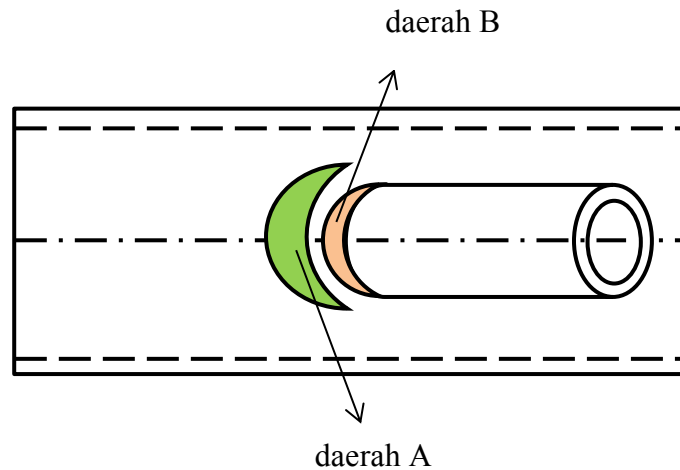
Dimana:

Q : Heat input bersih (Watt)

A_e : Luasan elektroda (mm^2)

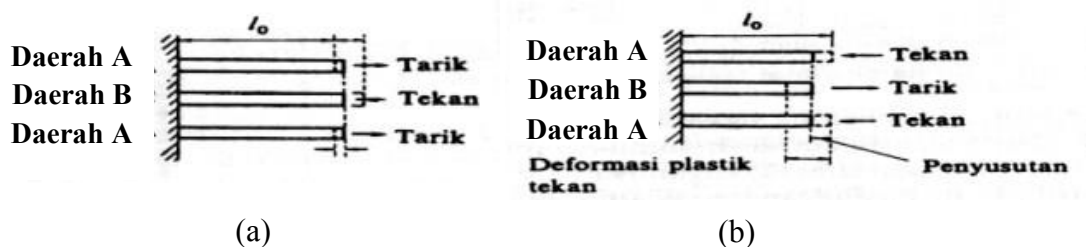
2.2.3 Tegangan Sisa

Pada saat proses pengelasan dilakukan, daerah B yaitu daerah yang menerima panas tinggi dari las (*weld metal*) akan mengalami pemuaian atau perubahan volume yang relatif tinggi dibandingkan daerah A dimana merupakan daerah di sekitar daerah las (*base metal*) yang bersuhu lebih rendah. Pembagian daerah dapat dilihat pada Gambar 2.5.



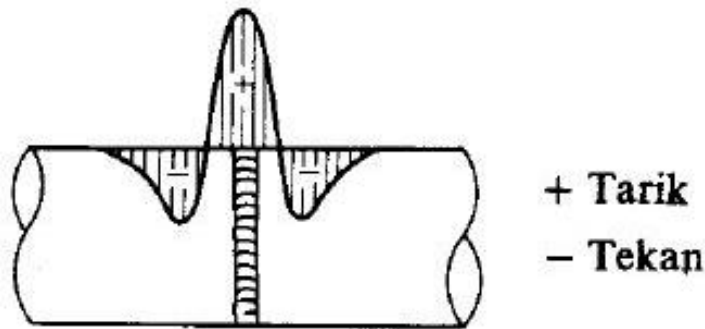
Gambar 2.5. Skema tampak atas daerah pengelasan sambungan tubular Y. (dokumentasi pribadi)

Pemuaian pada daerah B akan ditahan oleh daerah A, sehingga pada daerah B terjadi tegangan tarik dan pada daerah A terjadi tegangan tekan. Tetapi bila daerah A luasnya jauh lebih besar dari B, maka pada daerah B akan terjadi perubahan bentuk tetap, sedangkan pada A terjadi perubahan bentuk elastic. Pada waktu pengelasan selesai (proses pendinginan), di mana bagian B menyusut cukup besar, penyusutan tersebut ditahan oleh daerah A, karena itu pada daerah B akan terjadi tegangan tarik yang diimbangi oleh tegangan tekan pada daerah A seperti pada Gambar 2.6. (Harsono W. dan Toshie O., 1996)

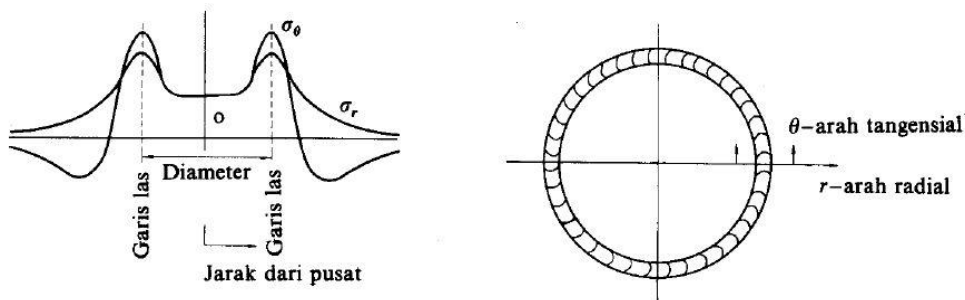


Gambar 2.6. Skema terjadinya tegangan sisa pada proses pengelasan (a), dan pada saat pendinginan (b). (Wiryosumarto, 1996)

Perbedaan tegangan tersebut yang dapat menimbulkan tegangan yang bersifat permanen, yang disebut dengan tegangan sisa. Pada sambungan las berbentuk lingkaran, distribusi tegangan sisa akan sama pada ujung jarak dari pusat dimana sama dengan distribusi tegangan sisa pada sambungan las plat datar yang dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2.7. Distribusi tegangan sisa pada las melingkar pada pipa. (Wiryosumarto, 1996)



Gambar 2.8. Distribusi tegangan sisa pada las berbentuk lingkaran (Wiryosumarto, 1996)

Tegangan sisa dapat dihitung menggunakan hukum Hooke, dimana tegangan sisa dihitung dengan membandingkan perubahan ukuran benda yang terjadi akibat adanya tegangan seperti pada persamaan 2.5

$$\sigma = E \frac{\Delta l}{l} \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana :

σ : tegangan sisa yang terjadi

- E : Modulus elastik
 l : panjang awal
 Δl : perubahan panjang awal dan akhir

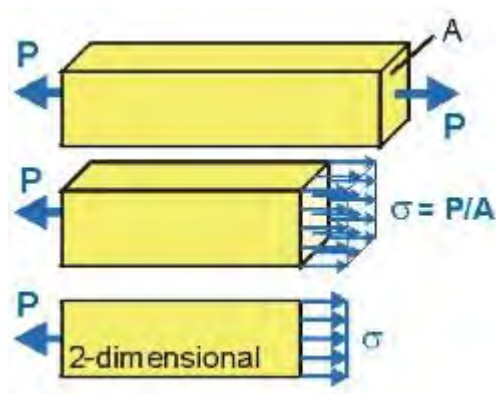
2.2.4 Tegangan Aksial

Tegangan yang terjadi akibat gaya aksial, dimana gaya tersebut terjadi sepanjang sumbu longitudinal suatu material, tegangan aksial disebut juga dengan tegangan normal. Tegangan aksial merupakan tegangan yang cenderung mengakibatkan suatu material dapat memanjang atau memendek karena tegangan yang terjadi searah dengan panjang material seperti pada Gambar 2.9. Tegangan aksial dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana:

- σ : tegangan normal
P : Gaya yang mengenai material
A : luasan penampang material yang dikenai beban



Gambar 2.9. Tegangan Aksial pada suatu luasan material

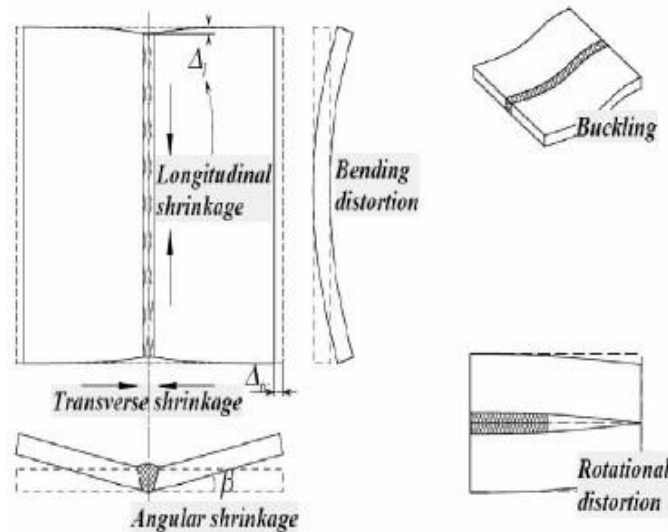
Jika tegangan positif atau gaya melebihi 0, maka pada material terjadi gaya tarik, jika tegangan negative atau gaya kurang dari 0, maka pada material terjadi gaya tekan.

2.2.5 Distorsi

Setiap logam yang dipanaskan mengalami pemuaian dan ketika pendinginan akan mengalami penyusutan. Fenomena ini menyebabkan adanya ekspansi dan kontraksi pada logam yang dilas. Ekspansi dan kontraksi pada logam yang dilas ini dinamakan distorsi, jadi distorsi terjadi karena adanya pemuaian dan penyusutan yang bebas akibat siklus termal las.

Distorsi dikategorikan menjadi tiga macam seperti pada Gambar 2.10, yaitu:

- 1) Distorsi longitudinal
- 2) Distorsi transfersal, dan
- 3) Distorsi angular.
- 4) Distorsi bending longitudinal
- 5) Distorsi Buckling



Gambar 2.10. Macam-macam jenis distorsi las. (www.dunlopcustoms.com)

- 1) Penyusutan transfersal (*transverse shrinkage*) terjadi tegak lurus terhadap jalur las yang dapat mengakibatkan tarikan ke arah sumbu tegak jalur las.
- 2) Penyusutan longitudinal (*longitudinal shrinkage*) terjadi akibat adanya ekspansi dan kontraksi deposit logam las di sepanjang

jalur las yang menyebabkan tarikan dan dorongan pada logam dasar yang dilas.

- 3) Distorsi rotasional atau biasa disebut dengan distorsi sudut, terjadi tegak lurus terhadap jalur las tetapi tarikan yang dihasilkan agak memutar, pada umumnya terjadi di pengelasan pada *butt* yang panjang.
- 4) Distorsi angular menyebabkan efek gerakan sayap burung yang biasanya terjadi karena pengelasan di satu sisi logam dasar.
- 5) Distorsi bending longitudinal juga dapat disebut sebagai *bowing* atau distorsi melengkung, dimana efek distorsi jenis ini hamper sama dengan distorsi angular, tetapi arah distorsinya longitudinal
- 6) Distorsi buckling

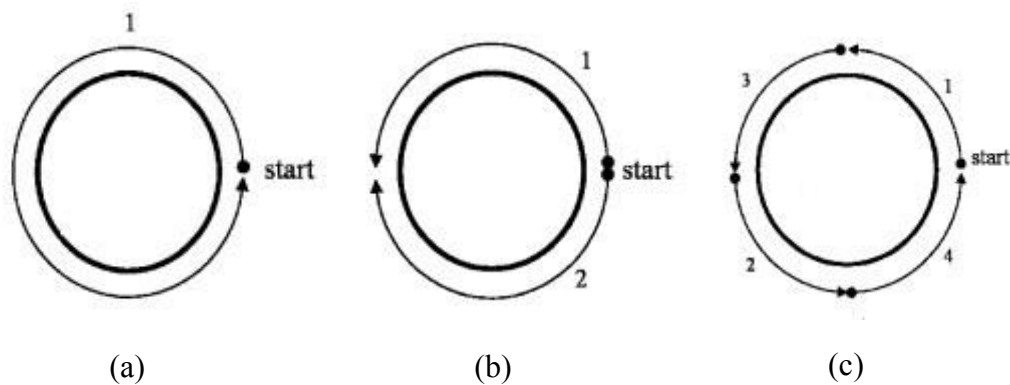
Distorsi pada pengelasan sangat merugikan bagi struktur, diantaranya:

- a. Dapat mengakibatkan kecacatan pada las yang dapat berdampak pada kekuatan las tersebut
- b. Bentuk tidak sesuai dengan rancangan awal
- c. Terjadi *misalignment*, tidak lurusnya kedua poros logam las

2.2.6 Urutan Pengelasan

Urutan pengelasan adalah salah satu proses dalam pengelasan yang dapat mengurangi atau meminimalisir tegangan sisa dan distorsi pada hasil las. Dengan perencanaan urutan pengelasan yang baik, dapat mengurangi besarnya masukan panas yang menyebabkan penyusutan memanjang dan melintang. Masukan panas pada urutan pengelasan sangat mempengaruhi besarnya distorsi dan tegangan sisa yang terjadi.

Pada umumnya urutan pengelasan pada pengelasan melingkar sambungan tubular yang digunakan ada 3 jenis seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Jenis urutan pengelasan pada sambungan tubular (a) menerus, (b) simetri, dan (c) loncat. (Javadi, 2007)

a) Urutan pengelasan menerus

Urutan pengelasan yang dilakukan dari titik awal kembali ke titik awal yang sama dengan sekali jalan atau las alur tunggal. Pada urutan pengelasan menerus ini merupakan urutan pengelasan yang paling singkat sehingga memberikan efisiensi waktu pengerjaan yang lebih tinggi.

b) Urutan pengelasan simetri

Urutan pengelasan simetri dilakukan dengan titik awal dan titik akhir yang sama, dengan pengerjaan awal setengah lingkaran lalu setengah lingkaran pada sisi yang berlawanan arah seperti pada Gambar 2.11 (b).

c) Urutan pengelasan loncat

Pada urutan pengelasan loncat dilakukan secara berselang pada seluruh panjang sambungan las, karena urutan yang dilakukan berselang memungkinkan timbulnya cacat las pada tiap permulaan dan akhir lasan.

2.2.7 Metode Elemen Hingga

Elemen adalah susunan materi yang mempunyai bentuk relatif teratur. Elemen ini akan mempunyai sifat-sifat tertentu yang tergantung kepada bentuk fisik dan materi penyusunnya. Bentuk fisik dan materi penyusun elemen tersebut akan menggambarkan totalitas dari elemen tersebut yang disebut dengan kekakuan elemen. Suatu geometri struktur yang di bagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil disebut dengan elemen hingga. Dinamakan elemen hingga karena ukuran elemen kecil ini berhingga (bukannya kecil tak berhingga) dan umumnya

mempunyai bentuk geometri yang lebih sederhana. Metode elemen hingga merupakan metode numerik yang biasa digunakan untuk menyelesaikan suatu geometri struktur, beban dan bahan material yang rumit.

Konsep dasar metode elemen hingga adalah pendekatan menggunakan informasi-informasi pada titik simpul (*node*). Proses penentuan titik simpul tersebut dinamakan pendiskritan (*discretization*). Usaha pendiskritan ini dilakukan agar memudahkan dalam analisis karena adanya keterbatasan dalam analisis secara global pada bentuk struktur yang rumit.

Dengan metode elemen hingga kita dapat mengubah suatu masalah dengan jumlah derajat kebebasan tertentu sehingga proses pemecahannya akan lebih sederhana. Misalnya suatu batang panjang yang bentuk fisiknya tidak lurus, dipotong-potong sependek mungkin sehingga terbentuk batang-batang pendek yang relatif lurus yang mendekati bentuk aslinya. Maka pada bentang yang panjang tadi disebut kontinum dan batang yang pendek disebut elemen hingga.

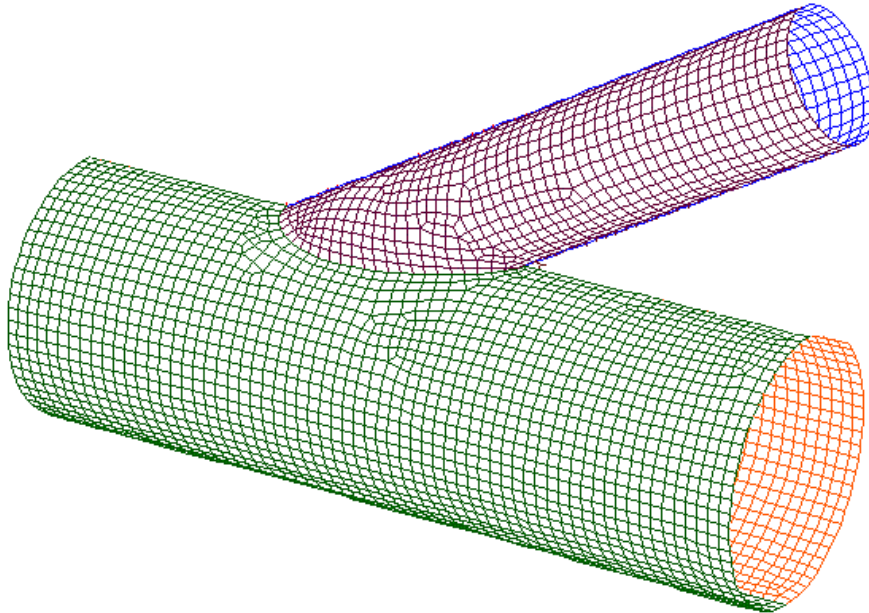
Dalam software ANSYS dapat dilakukan pemodelan 2D ataupun 3D dengan elemen titik, elemen garis, elemen area, dan elemen solid. Semua jenis elemen ini dapat digabungkan untuk membentuk struktur yang akan dianalisis.

Dalam perumusan metode elemen hingga, terdapat tujuh tahap yang secara umum sering digunakan, yaitu :

1. Pendiskritan dan Pemilihan Jenis Elemen

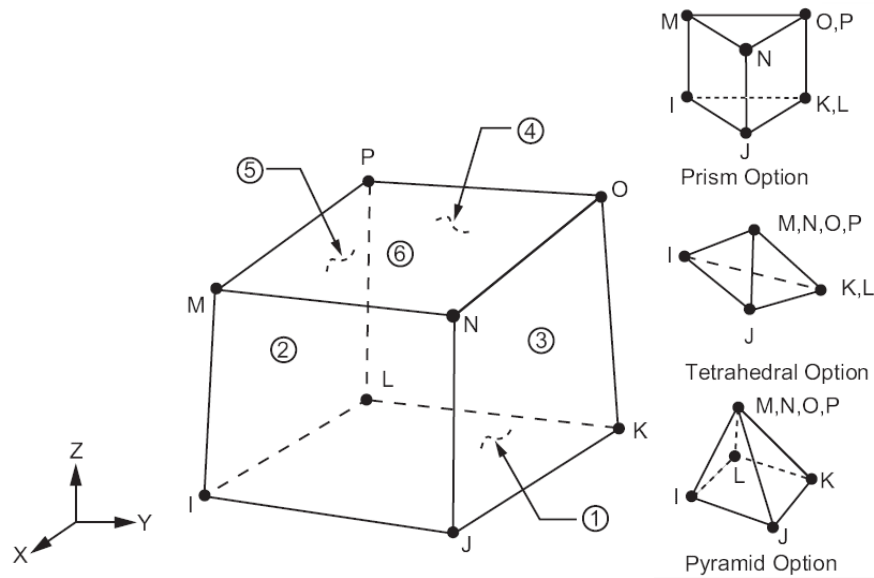
Pemilihan jenis elemen merupakan tahap yang sangat penting karena dapat menentukan keakuratan hasil analisis. Jenis elemen harus dipilih sesuai analisis agar dapat menghasilkan hasil analisis yang mendekati keadaan sebenarnya. Hasil analisis yang mendekati keadaan sebenarnya juga tergantung dari pendiskritan yang mana dalam pemodelan disebut dengan proses *meshing*. Ukuran yang dipilih ketika proses *meshing* harus mewakili keadaan struktur sebenarnya. Semakin kecil ukuran *meshing* akan membutuhkan kapasitas hardisk dan memori yang cukup besar. Hal ini karena input data *software* semakin banyak sehingga untuk proses akan lebih berat.

Meshing untuk ukuran elemen kecil biasanya digunakan untuk analisis dengan kondisi yang mengalami perubahan drastis. Sedangkan untuk *meshing* ukuran elemen besar digunakan untuk analisis yang perubahannya cenderung konstan. Hasil *meshing* dapat dilihat pada Gambar 2.12 di bawah ini.



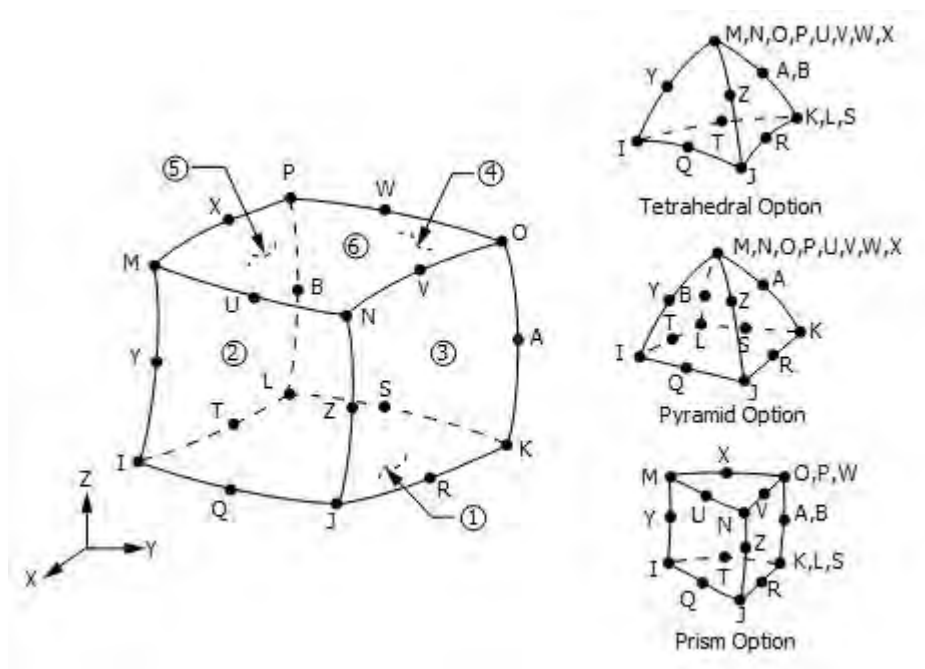
Gambar 2.12. Contoh *meshing* pada sambungan tubular tipe Y. (www.members.ozemail.com.au)

Jenis elemen yang digunakan pada analisis termal adalah SOLID70 dan SOLID90. Elemen SOLID70 memiliki delapan node dengan masing-masing node memiliki satu derajat kebebasan dan temperature seperti pada Gambar 2.13. Elemen ini memiliki kemampuan menghantarkan panas sehingga dapat digunakan untuk analisis termal *transient* dan *steady-state*. Elemen SOLID70 dapat membentuk elemen dengan bentuk elemen prisma, tetrahedral, dan juga piramida. Elemen ini didefinisikan dengan delapan node dan ortotropik material properties. Untuk analisis *steady-state* specific heat dan massa jenis dapat diabaikan. Elemen yang memiliki kemampuan menghantarkan panas ini otomatis dapat juga digunakan untuk analisis struktural.



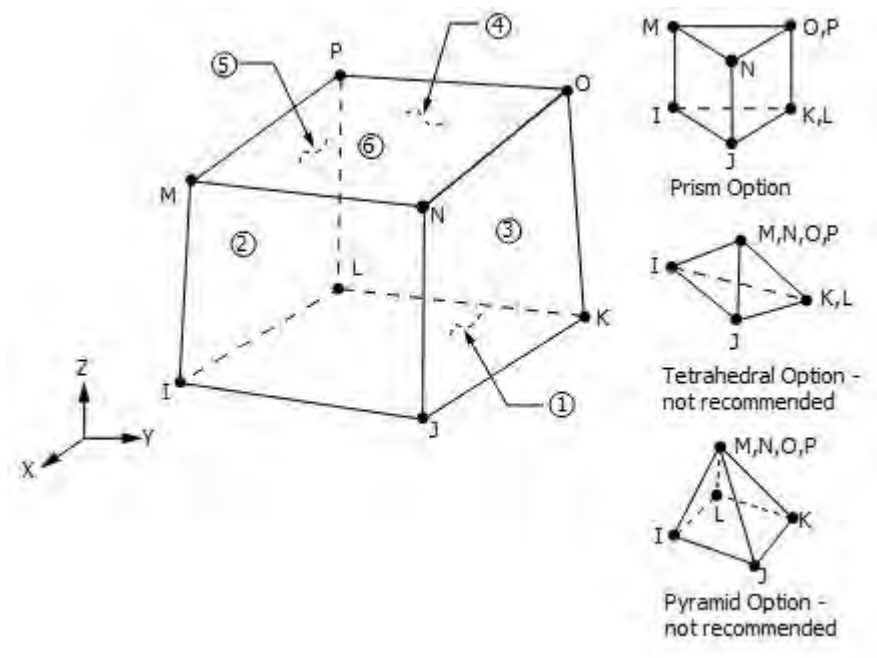
Gambar 2.13. Geometri Elemen SOLID70 (ANSYS Mechanical APDL Element Reference)

Sedangkan SOLID90 memiliki kemampuan yang sama dengan SOLID70, yang membedakan adalah jumlah node pada SOLID90 sebanyak 20 derajat kebebasan seperti pada Gambar 2.14 di bawah ini.



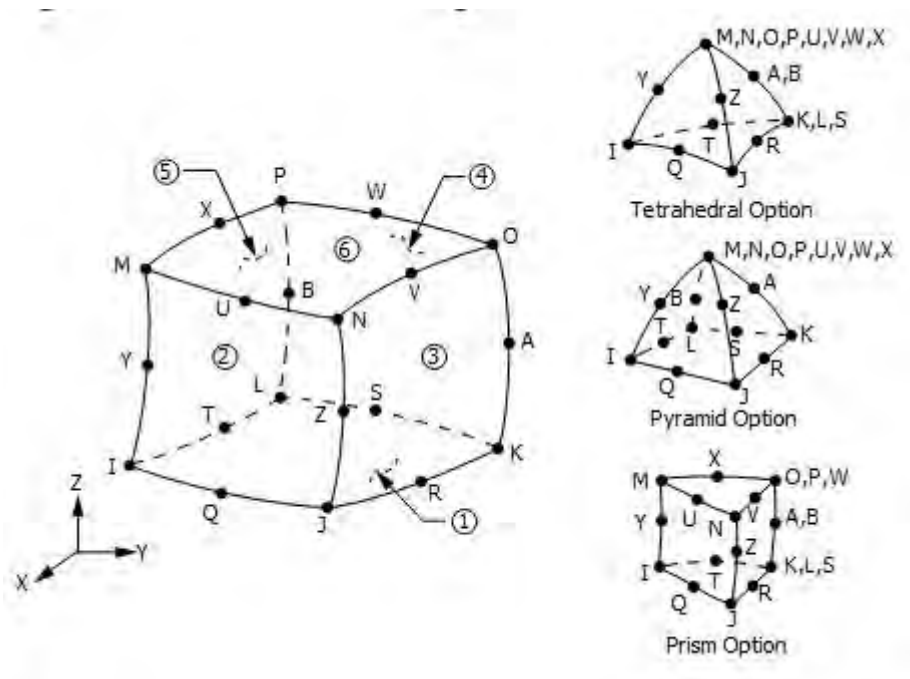
Gambar 2.14. Geometri Elemen SOLID90 (ANSYS Mechanical APDL Element Reference)

Jenis elemen yang digunakan pada analisis struktural adalah SOLID185 dan SOLID186. Elemen SOLID185 memiliki delapan node dengan masing-masing node memiliki tiga derajat kebebasan seperti pada Gambar 2.15. Elemen ini dapat bertranslasi ke arah sumbu x dan y. Elemen ini memiliki kemampuan plastisitas, elastisitas yang tinggi, defleksi dan regangan yang besar. Elemen SOLID185 dapat membentuk elemen prisma, tetrahedral, dan piramida.



Gambar 2.15. Bentuk elemen yang dapat dibentuk SOLID185 (ANSYS Mechanical APDL Element Reference)

Sedangkan untuk elemen SOLID186 merupakan elemen solid 3D 20 node dimana untuk mengetahui perilaku displacemen, memiliki kemampuan yang sama dengan SOLID185 dengan perbedaan terletak pada jumlah node nya yaitu 20 node, dan pada setiap node memiliki 3 derajat kebebasan seperti tampak pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Bentuk elemen yang dapat dibentuk SOLID186 (ANSYS Mechanical APDL Element Reference)

2. Pemilihan fungsi dispasmen

Menentukan fungsi dispasmen yang didefinisikan pada tiap elemen dengan menggunakan nilai parameter di tiap node elemen. Fungsi yang digunakan adalah fungsi polinomial, linear kuadratik, kubik, atau deret trigonometri.

3. Definisi hubungan regangan-dispasmen dan tegangan-regangan

Dapat ditentukan hubungan regangan akibat dispasmen yang sudah ditentukan pada tahap sebelumnya. Hubungan tegangan-regangan nanti akan digunakan dalam proses penurunan persamaan untuk masing-masing elemen.

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon^{el}\} \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana:

$$\{\sigma\} = \text{vektor tegangan} = [\sigma_x \quad \sigma_y \quad \sigma_z \quad \sigma_{xy} \quad \sigma_{yz} \quad \sigma_{xz}]^T$$

$$\{\varepsilon\} = \text{vektor regangan total} = [\varepsilon_x \quad \varepsilon_y \quad \varepsilon_z \quad \varepsilon_{xy} \quad \varepsilon_{yz} \quad \varepsilon_{xz}]^T$$

$\{\varepsilon^{el}\} = \{\varepsilon - \varepsilon^{th}\} = \text{vektor regangan elastis}$

$\{\varepsilon^{th}\} = \text{vektor regangan termal}$

$[D] = \text{matrik kekakuan elastis atau matrik } stress-strain$

Persamaan (2.8) dapat dijabarkan menjadi,

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon^{th}\} + [D]^{-1}\{\sigma\} \dots\dots\dots (2.9)$$

Vector thermal strain $\{\varepsilon^{th}\}$ untuk isotropik medium dengan suhu yang tergantung pada koefisien ekspansi termal, dengan rumus:

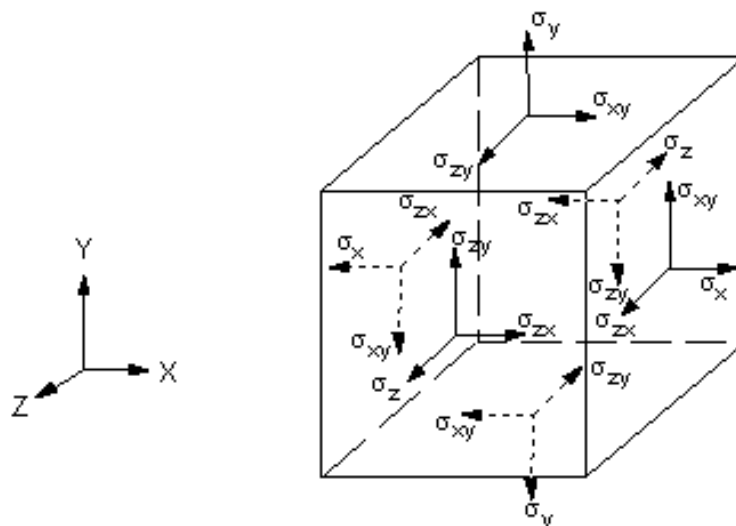
$$\{\varepsilon^{th}\} = \Delta T [\alpha_x \ \alpha_y \ \alpha_z \ 0 \ 0 \ 0]^T \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

$\alpha_x = \text{koefisien ekspansi termal arah sumbu-x}$

$\Delta T = \text{perbedaan antara temperatur referensi dengan temperatur yang ditinjau.}$

Vektor tegangan yang bekerja pada tiap elemen model dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Vektor tegangan

Sedangkan matrik kekakuan $[D]^{-1}$ diperoleh dari:

$$[D]^{-1} = \begin{bmatrix} 1/E_x & -\nu_{xy}/E_x & -\nu_{xz}/E_x & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{yx}/E_y & 1/E_y & -\nu_{yz}/E_y & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{zx}/E_z & -\nu_{zy}/E_z & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{xz} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana,

E_x = modulus elastisitas arah x

ν_{xy} = mayor *poisson ratio*

ν_{yx} = minor *poisson ratio*

G_{xy} = modulus geser bidang x-y

Untuk material isotropik maka $E_x = E_y = E_z$ dan $\nu_{xy} = \nu_{yz} = \nu_{xz}$

4. Penentuan matriks kekakuan elemen dan persamaan elemen

Pengembangan matrik kekakuan elemen dan persamaan elemen dipengaruhi oleh nilai koefisien kekakuan. Pada analisa termal pengelasan, matrik kekakuan elemen yang digunakan didasarkan pada hukum Fourier yakni,

$$\frac{kA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{Bmatrix} \text{ or } \mathbf{k}^{(e)} \boldsymbol{\theta}^{(e)} = \mathbf{q}^{(e)} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana:

θ = vektor termal

k = karakteristik matrik elemen

q = vektor elemen gaya

5. Penggabungan persamaan elemen dengan penentuan kondisi batas

Pada tahap ini akan didapatkan matriks kekakuan global yang bersifat singular. Kondisi batas digunakan untuk menghilangkan singularitasnya. Matriks kekakuan global didapatkan dari menggabungkan persamaan elemen pada tahap empat menggunakan metode kekakuan langsung yaitu:

$$[K][\theta] = [Q] \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana:

$[K]$ = Kekakuan Global

$[\theta]$ = Global Termal

$[Q]$ = *Global Force*

6. Penyelesaian derajat kebebasan yang belum diketahui

Mendapatkan hasil besaran yang diperlukan tetapi tidak didapat secara langsung dari tahap sebelumnya. Dapat dicari dengan metode eliminasi (misalkan metode *gauss*) dan iterasi (misalkan metode *gauss-siedel*).

7. Penentuan regangan dan tegangan elemen

Perhitungan regangan dan tegangan yang terjadi pada elemen berdasarkan hasil dari tahap enam.

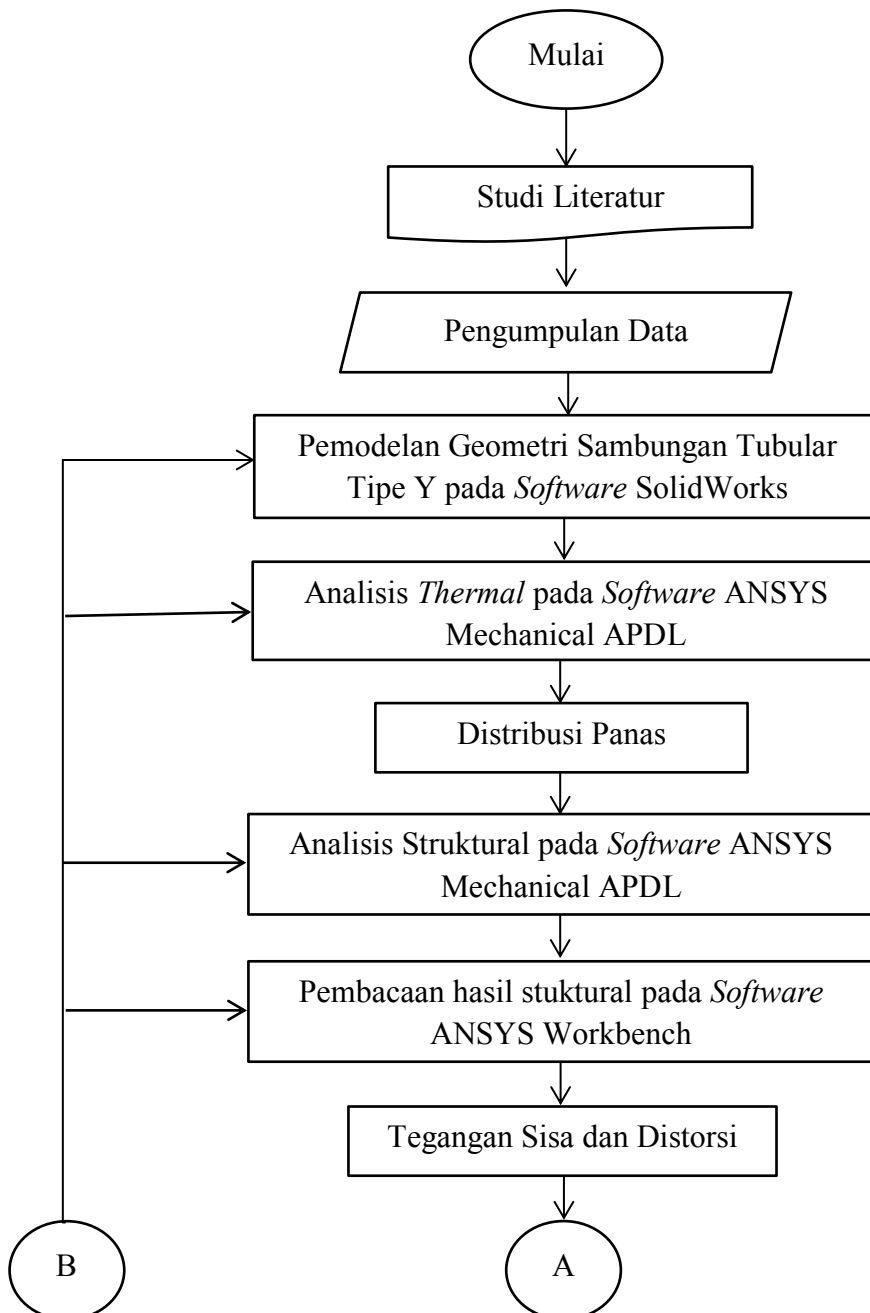
8. Penampilan hasil

Hasil yang diperoleh ditampilkan dalam bentuk grafis sehingga akan mempermudah pembacaan hasil.

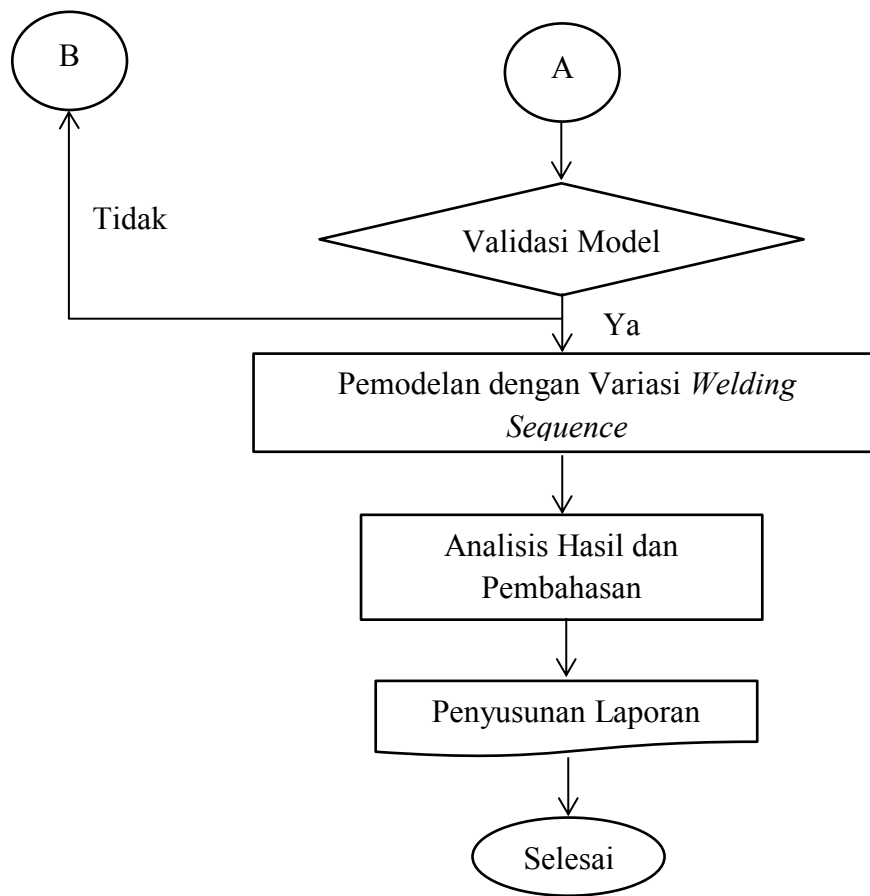
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Alur metodologi penelitian dalam tugas akhir ini dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) seperti pada Gambar 3.1:



Gambar 3.1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)

3.2 Parameter Pengelasan

Parameter pengelasan yang digunakan dalam pemodelan ini adalah menggunakan metode pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*), adapun prosedur pengelasan yang digunakan secara spesifik adalah seperti pada Tabel 3.1 di bawah ini:

Tabel 3.1. Parameter Pengelasan

No	Parameter	Keterangan
1	Proses Pengelasan	SMAW
2	Diameter elektroda (mm)	3,2
3	Arus Listrik (Ampere)	110

Tabel 3.1. Parameter Pengelasan (lanjutan)

4	Tegangan Busur (Volt)	22
5	Kecepatan pengelasan (mm/detik)	2

3.3 Material Properti

Material properti yang digunakan untuk pemodelan dalam penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Awang (2009) yaitu ASTM A106 Grade B. ASTM A106 Grade B merupakan jenis material baja karbon, Berikut adalah sifat dan karakteristik dari ASTM A106 Grade B secara spesifik terlihat pada Tabel 3.2, 3.3, dan 3.4 di bawah ini:

Tabel 3.2. Strength Properties ASTM A106 Grade B

Strength	Nilai
Tensile	413.7 MPa
Yield	241 MPa

Tabel 3.3. Thermal Properties ASTM A106 Grade B

Temperature (K)	Density (kg/m ³)	Specific Heat (J/kg.K)	Thermal Conductivity (W/m.K)
673	7760	650	38
873	7600	750	30
1073	7520	1000	25
1473	7300	1400	28
1573	7250	1600	37
1873	7180	1700	37

Tabel 3.4. Mechanical Properties ASTM A106 GRADE B

Temperature (K)	Modulus Elastisitas (Pa)	Poisson Ratio	Thermal Expansion Coef. (K ⁻¹)	Yield Stress (Pa)
673	1.7E+11	0.31	1.30E-06	2.3E+08
873	8E+10	0.33	1.42E-06	1.1E+08

Tabel 3.4. Mechanical Properties ASTM A106 GRADE B (lanjutan)

1073	3.5E+10	0.33	1.45E-06	3E+07
1473	1.5E+10	0.36	1.45E-06	2E+07
1573	1E+10	0.38	1.45E-06	1.8E+07
1873	1E+10	0.39	1.45E-06	1.5E+07

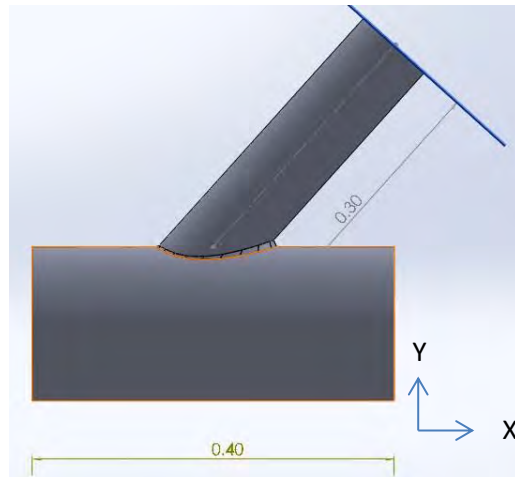
3.4 Data Pemodelan Geometri

Pada penelitian ini akan dilakukan pemodelan pengelasan melingkar pada sambungan tubular joint Y. Data pemodelan geometri dikerjakan sesuai dengan data dari penelitian Awang (2009). Pada pemodelan penampang kampuh las dibagi menjadi 20 elemen.

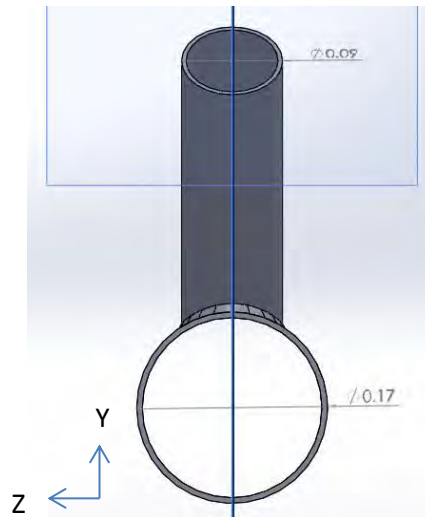
Pembuatan model geometri sambungan tubular tipe Y menggunakan *software* SolidWorks dengan besar diameter, tebal, sudut brace material sesuai dengan data yang sudah diperoleh sebelumnya, data model tubular tipe Y dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan dimodelkan seperti pada Gambar 3.2.

Tabel 3.5. Data Geometri Model

No	Parameter	Nilai
1.	Chord	
	• Outer Diameter (OD)	0.17 m
	• Wall Thickness (WT)	0,01 m
	• Panjang	0.4 m
2.	Brace	
	• Outer Diameter (OD)	0,09 m
	• Wall Thickness (WT)	0,008 m
	• Panjang	0.3 m
	• Sudut	48 deg.



(a)



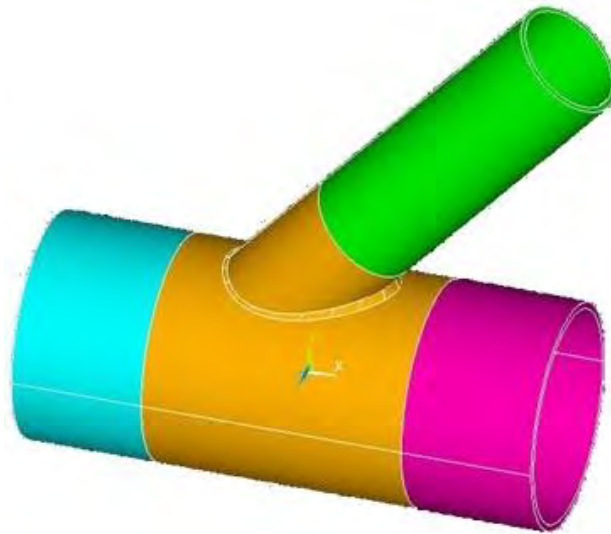
(b)

Gambar 3.2. Model Geometri Tubular Tipe Y pada *software* SolidWorks tampak depan (a) dan tampak samping (b).

3.5 Input Pemodelan SolidWork pada *Software* ANSYS Mechanical APDL

Setelah pemodelan dilakukan, output model geometri dari *software* SolidWorks di input atau di masukkan pada *software* ANSYS Mechanical APDL seperti pada Gambar 3.3 untuk diperiksa kecocokan model harus sama seperti pada *software* SolidWorks, jika geometri terlihat tidak sesuai atau gagal, maka pemodelan geometri dilakukan kembali menggunakan *software* SolidWorks

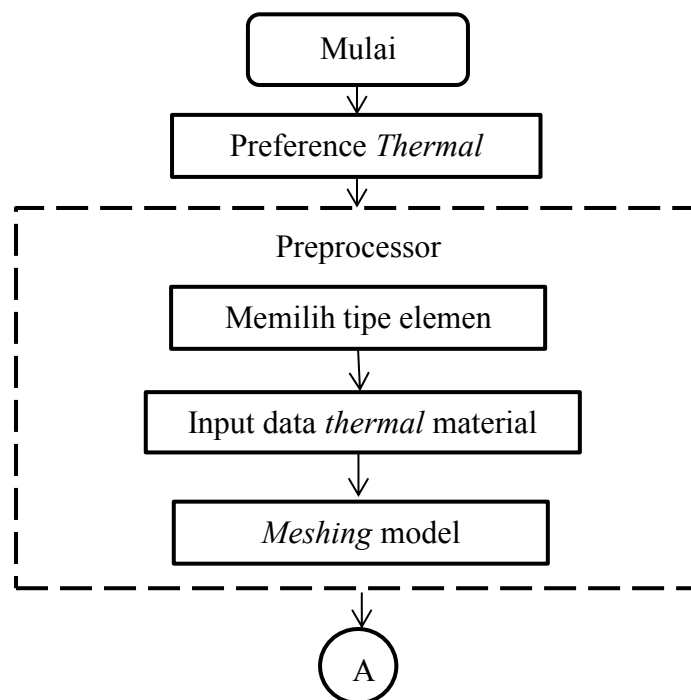
supaya pada saat akan melakukan analisis termal pada *software* ANSYS tidak terjadi kesalahan.



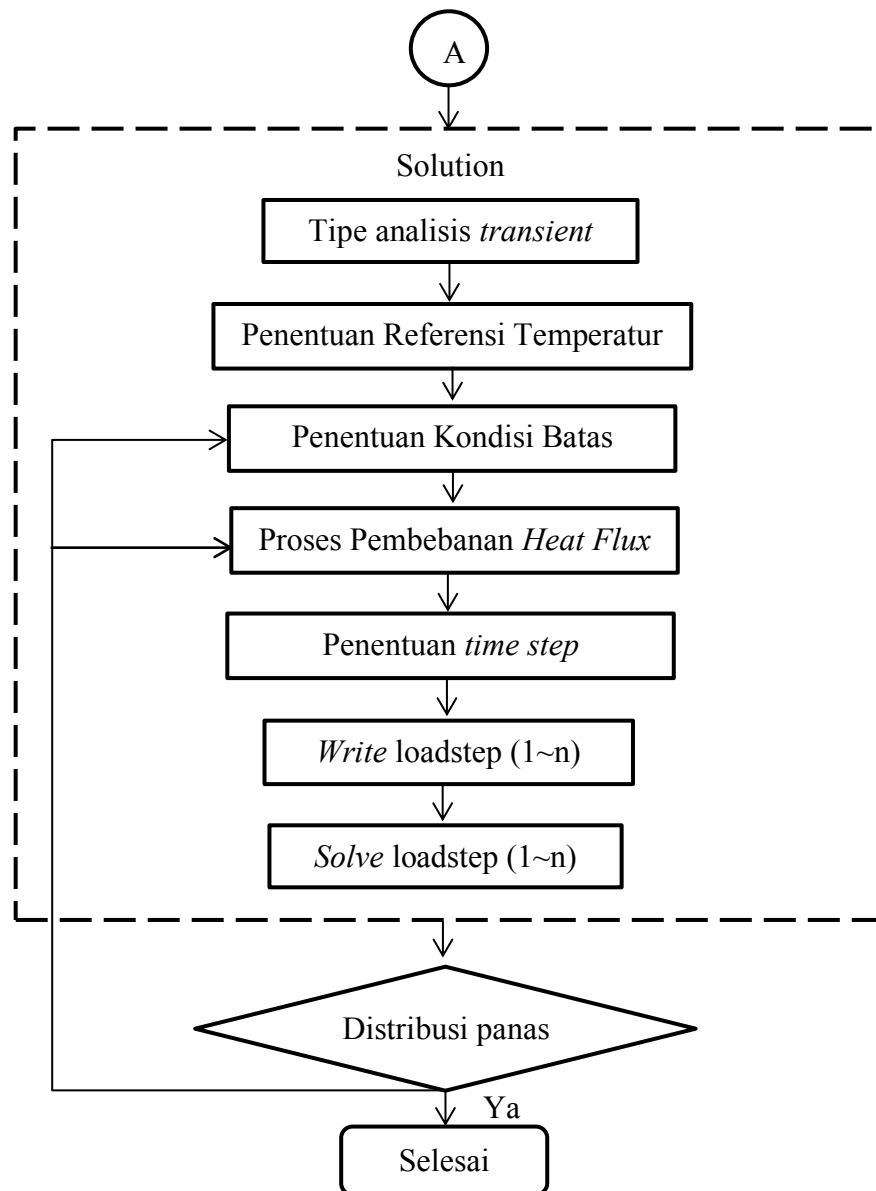
Gambar 3.3. Hasil Input Model Geometri Tubular Tipe Y pada ANSYS Mechanical APDL.

3.6 Analisis *Thermal* pada *Software* ANSYS Mechanical APDL

Diagram alir analisis thermal dapat dilihat pada Gambar 3.4, dimana dalam analisis termal ini akan didapatkan hasil berupa distribusi panas.



Gambar 3.4. Diagram alir analisis *Thermal* pada *software* ANSYS Mechanical APDL



Gambar 3.4. Diagram alir analisis *Thermal* pada *software* ANSYS Mechanical APDL (lanjutan)

3.6.1 Memilih *preference*

Untuk memulai analisis termal pada ANSYS, langkah pertama yaitu dengan memilih *preference* termal, *preference* adalah langkah untuk memilih analisis apa yang akan kita kerjakan pada ANSYS agar dapat memberikan hasil yang kita inginkan pada model. Langkah-langkah yang digunakan untuk memilih *preference* yaitu:

Preference > pilih Thermal

3.6.2 Pemilihan tipe elemen

Selanjutnya yaitu memilih tipe elemen untuk model kita, supaya model yang akan dianalisis dapat dilakukan *meshing* yang sesuai dengan modelnya. Berdasarkan *Element Reference* pada ANSYS Mechanical, tipe elemen yang tepat untuk analisis termal yaitu solid 70. Pada penelitian ini tipe elemen yang digunakan yaitu solid 70 dan solid 90, karena disesuaikan dengan jenis *meshing* yang akan digunakan. Langkah-langkah untuk memilih tipe elemen adalah:

Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Add > Thermal Mass:

Solid > Brick 8 node 70 dan Brick 20 node 90

3.6.3 Input data material properti

Input data material properti digunakan agar ketika analisis termal dilakukan memberikan hasil yang sesuai dengan sifat material yang kita gunakan pada keadaan sebenarnya. Material properti yang dimasukkan cukup sifat material yang berhubungan dengan analisis termal seperti panas spesifik, konduktivitas panas, massa jenis, dll. Material properti berbeda-beda sesuai dengan tipe material, dan merupakan fungsi terhadap suhu. Langkah-langkah yang digunakan untuk memasukkan data material pada ANSYS Mechanical yaitu:

Preprocessor > Material Props > Material Models > Thermal, dll

3.6.4 *Meshing* model

Langkah selanjutnya yaitu *meshing* model, *meshing* model adalah langkah dimana model yang digunakan dibagi menjadi elemen-elemen kecil yang diinginkan. *Meshing* model dilakukan agar analisis yang dilakukan memberikan hasil yang semakin detail pada setiap titik atau node yang dihasilkan dari hasil *meshing* model. *Meshing* pada penelitian ini menggunakan jenis heksahedral dengan tipe elemen solid 90 dan

tetrahedral dengan tipe elemen solid 70. Ukuran *meshing* untuk jenis heksahedral dan tetrahedral sama yaitu sebesar 1.5 cm. Setelah dilakukan pengaturan ukuran dan jenis *meshing*, langkah selanjutnya yaitu melakukan *meshing* pada model, langkah-langkah untuk *meshing* adalah:

Preprocessor > *Meshing* > Mesh Tool

3.6.5 Memilih tipe analisis

Tipe analisis untuk termal yaitu dipilih tipe transient, karena dalam pemodelan pengelasan merupakan fungsi lokasi (X, Y, Z) dan waktu (t). Langkah-langkah untuk memilih tipe analisis yaitu:

Solution > Analysis Type > New Analysis > pilih Transient

3.6.6 Penentuan referensi temperatur

Menentukan referensi temperatur adalah langkah selanjutnya yang dilakukan, referensi temperature yang digunakan yaitu pada suhu kamar sebesar 27° Celcius atau 300° Kelvin pada satuan yang digunakan ANSYS Mechanical. Langkah-langkah yang digunakan untuk memasukkan data material pada ANSYS Mechanical yaitu:

Solution > Define Loads > Settings > Reference Temp

3.6.7 Penentuan kondisi batas

Pada analisis termal, kondisi batas yang dikenakan adalah berupa beban konveksi. Pada kenyataannya, selama pengelasan dilakukan, suhu pada material karena adanya proses konveksi, kondisi dimana terjadinya proses transfer suhu antara permukaan material dengan suhu udara pada saat pengelasan berlangsung. Besar beban konveksi berupa koefisien film material yaitu 30 W/m² K dan bulk temperature sebesar 300° Kelvin, bulk temperature merupakan besar temperature atau suhu pada saat pengelasan dilakukan. Langkah-langkah untuk memberikan kondisi batas yaitu:

Solution > Define Loads > Apply > Thermal > Convection

3.6.8 Proses pembebanan *heatflux*

Selain terkena beban konveksi, beban *heatflux* diberikan sebagai beban proses pengelasan. Beban *heatflux* diberikan pada tiap elemen kampuh las yang dilewati selama proses pengelasan dan sudah dimodelkan sebelumnya, besar beban *heatflux* berdasarkan perhitungan panas masukan dan waktu pengelasan pada tiap elemen pengelasan. Langkah-langkah memberikan beban *heatflux* serta waktunya adalah:

Solution > Define Loads > Apply > Thermal > Heat Flux

3.6.9 Penentuan *time step*

Elemen pengelasan yang telah diberi beban *heatflux* untuk selanjutnya diatur waktu pembebanannya yang sesuai. Penentuan *time step* dilakukan agar beban *heatflux* yang sudah dikenakan dalam tiap elemen pengelasan dapat diasumsikan berjalan sesuai proses pengelasan. Waktu pengelasan tiap elemen pengelasan dimasukkan pada kotak TIME, pada penelitian ini waktu pada tiap 1 elemen pengelasan diisi sebesar 11.09 detik. Penulisan *time step* ini dilakukan sampai waktu pendinginan yang ditentukan, dalam penelitian ini waktu pendinginan dipilih hingga 1.5 jam atau 5400 detik. Langkah-langkah pemberian *time step* yaitu:

Solution > Load Step Opts > Time/Frequenc > Time and Substep

3.6.10 Penulisan *loadstep*

Setelah pembebanan *heatflux* dilakukan beserta waktunya, selanjutnya setiap pembebanan tersebut ditulis dalam *loadstep*. Penulisan *loadstep* dilakukan secara berulang disesuaikan dengan jumlah beban yang diberikan hingga waktu pendinginan, dalam penelitian ini yaitu sebanyak 21 *loadstep*. Langkah-langkah penulisan *loadstep* yaitu:

Solution > Load Step Opts > Write LS File

3.6.11 Solve loadstep

Tahap terakhir adalah tahap *solve*, dimana tahap *solve* dilakukan sebanyak total *loadstep* yang diberikan kepada model. Dalam penelitian ini *loadstep* yang di *solve* sebanyak 21 *loadstep* termasuk pendinginan. Tahap ini dilakukan untuk menyelesaikan semua pembebanan yang diberikan pada model, untuk supaya selanjutnya proses pengelasan pada model dapat digambarkan pada ANSYS Mechanical. Tahap untuk melakukan *solve loadstep* adalah sebagai berikut:

Solution > Solve > From LS Files

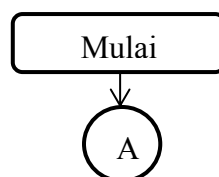
3.6.12 Distribusi panas

Dari hasil *solve loadstep* sebelumnya, maka didapatkan hasil dari analisis termal pada ANSYS yaitu distribusi panas. Pada penelitian ini, hasil distribusi panas dapat dilihat berupa animasi dan grafik seperti pada. Langkah-langkah untuk melihat distribusi panas dalam ANSYS Mechanical adalah sebagai berikut:

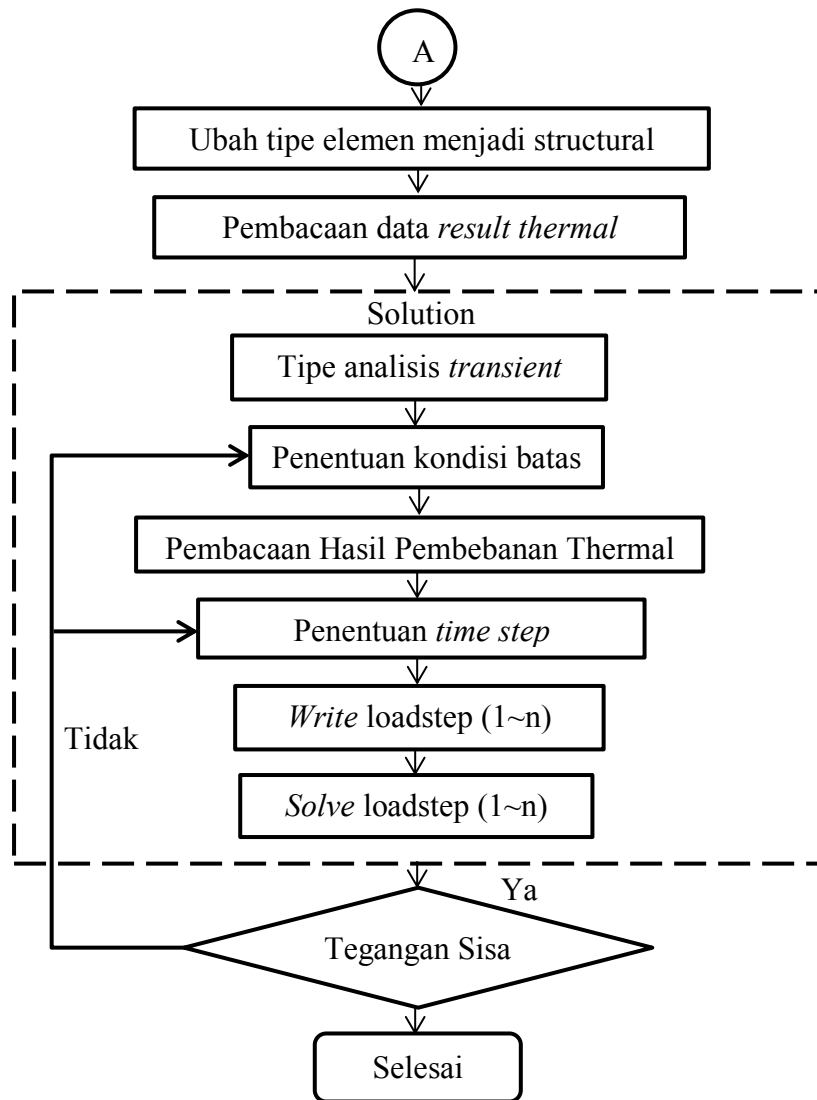
- Animasi : PlotCtrls > Animate > Over Time
- Grafik : TimeHist Postproc > DOF Solution > Nodal Temperature

3.7 Analisis Struktur pada Software ANSYS Mechanical APDL

Setelah analisis termal dilakukan, untuk mendapatkan tegangan sisa, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis struktur. Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan data hasil analisis termal sebelumnya. Diagram alir analisis struktural dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Diagram alir analisis *Structural* pada *software* ANSYS Mechanical APDL



Gambar 3.5. Diagram alir analisis *Structural* pada *software* ANSYS Mechanical APDL (lanjutan)

3.7.1 Ubah tipe elemen menjadi struktur

Sebelum melakukan analisis struktur, tipe elemen harus diubah dahulu dari *Thermal to Structural*. Pada penelitian ini tipe elemen akan otomatis berubah dari solid 70 dan solid 90 menjadi solid 185 dan solid 186. Langkah untuk mengubah tipe elemen adalah sebagai berikut:

Preprocessor > Element Type > Switch Elem Type

3.7.2 Pembacaan data *result thermal*

Karena analisis struktur dilakukan menggunakan data hasil termal sebelumnya, maka pembacaan data hasil analisis termal diperlukan, data yang dibaca merupakan data berupa file dengan format rth yaitu *result thermal*. Pembacaan data ini dapat dilakukan dengan cara:

General Postproc > Data & File Opts > *browse data .rth*

3.7.3 Memilih tipe analisis

Tipe analisis untuk struktur sama halnya dengan analisis termal yaitu dipilih tipe transient, karena tegangan dan distorsi pada model merupakan fungsi lokasi (X, Y, Z) dan waktu (t). Langkah-langkah untuk memilih tipe analisis yaitu:

Solution > Analysis Type > New Analysis > pilih Transient

3.7.4 Penentuan kondisi batas

Kondisi batas yang digunakan dalam analisis struktur ini berupa *displacement* yaitu tumpuan agar proses perhitungan dapat dilakukan dan tegangan dapat ditampilkan. Tumpuan tersebut dapat berupa *fixed*, *roll*, dll. Pada penelitian ini, model akan diberikan tumpuan berupa *fixed* pada salah satu ujung *chord* yang dimana ujung tersebut dianggap tidak bergerak selama proses pengelasan. Karena tumpuan pada penelitian ini *fixed*, maka nilai untuk *displacement* pada arah X, Y, dan Z diisi 0. Pemberian kondisi batas tersebut dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement

3.7.5 Pembacaan Loadstep Hasil Pembebanan Thermal

Pembacaan data hasil analisis termal ini adalah data pembebanan *loadstep* dari analisis termal. Beban tersebut yang akan digunakan pada analisis struktural. Sama halnya pada analisis termal, pada analisis struktural ini

secara otomatis akan membaca beban hasil analisis termal dari load step 1 sampai load step ke-n. Langkah membaca data hasil *loadstep* termal, yaitu:

Solution > Define Loads > Apply > Structural > Temperature > From
Term Analy

3.7.6 Penentuan *time step*

Sama halnya seperti penentuan *time step* yang dilakukan pada analisis termal, pemberian waktu harus disamakan dengan waktu yang diberikan pada analisis termal. Hal itu dilakukan agar pada saat menjalankan hasil analisis struktur tidak terjadi kesalahan pembacaan beban termal yang sudah dilakukan sebelumnya. Langkah-langkah pemberian *time step* yaitu:

Solution > Load Step Opts > Time/Frequenc > Time and Substep

3.7.7 Penulisan *loadstep*

Setelah pembebanan dilakukan sesuai hasil analisis termal beserta penentuan waktunya, selanjutnya setiap pembebanan tersebut ditulis dalam *loadstep*. Penulisan *loadstep* dilakukan sama seperti analisis termal yaitu sebanyak 21 *loadstep* termasuk dengan waktu pendinginan. Langkah-langkah penulisan *loadstep* yaitu:

Solution > Load Step Opts > Write LS File

3.7.8 Solve loadstep

Tahap terakhir adalah tahap *solve* atau solusi pembebanan, dimana tahap *solve* dilakukan sebanyak n *loadstep*. Tahap ini dilakukan untuk mendapatkan hasil dari analisis. Karena pada *solve* disesuaikan dengan total jumlah *loadstep*, maka *solve* dilakukan dari loadstep 1 sampai 21. Setelah *solve* dilakukan maka hasil pembebanan pada analisis struktur akan keluar, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

Solution > Solve > From LS Files

3.7.9 Tegangan Sisa

Dari hasil *solve* sebelumnya, langkah selanjutnya sebelum membaca hasil analisis stuktur adalah merubah data yang akan dibaca dari sebelumnya data *rth* (*result thermal*) menjadi data *rst* (*result structural*) dengan cara:

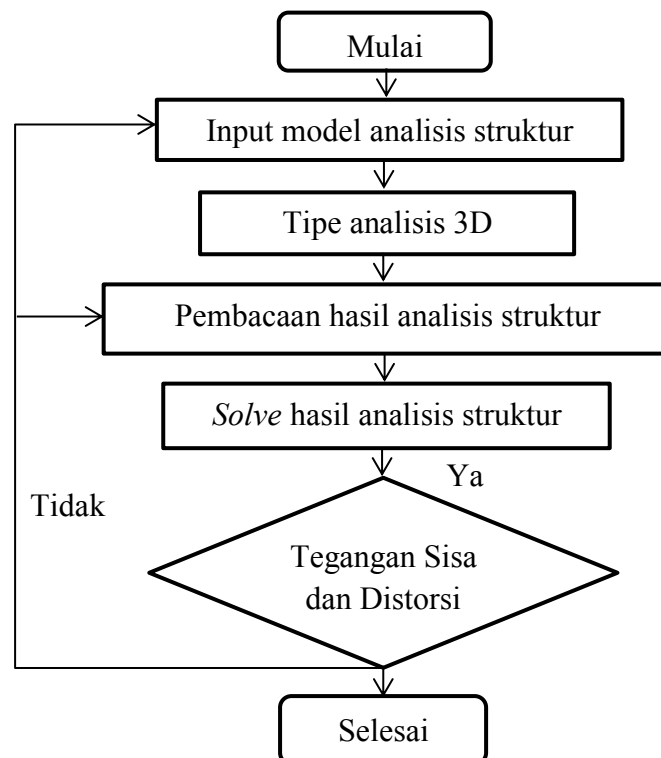
General Postproc > Data & File Opts > *browse file .rst*

Hasil tegangan sisa dilihat berupa animasi, dan langkah-langkah untuk mendapatkan animasi tersebut adalah:

PlotCtrls > Animate > Over Time > Stress Von Mises

3.8 Pembacaan Tegangan Sisa dan Distorsi Menggunakan *Software* ANSYS Workbench

Pembacaan distorsi hasil analisis struktur dilakukan menggunakan *software* ANSYS Workbench karena dirasa lebih jelas terlihat daripada menggunakan *software* ANSYS Mechanical. Pembacaan distorsi menggunakan *software* ANSYS Workbench tampak seperti Gambar 3.6.




Gambar 3.6. Diagram alir analisis *Structural* pada *software* ANSYS Workbench

3.8.1 Input model analisis struktur

Supaya tidak memulai dari awal pembuatan model, maka model dapat diambil dari analisis struktur pada ANSYS Mechanical. Format file model tersebut adalah .cdb, langkah memilih file tersebut adalah:

Preprocessor > Archive Model > Write > Pilih “DB”

Setelah mendapatkan file .cdb, langkah selanjutnya adalah input file .cdb ke *software* ANSYS Workbench seperti di bawah ini:

Pilih tab External Model > klik tombol  > pilih file format cdb yang sudah disimpan sebelumnya

3.8.2 Merubah tipe analisis

Analisis yang digunakan untuk melihat distorsi pada *software* ANSYS Workbench adalah 3D, dimana hasil akan terlihat lebih nyata. Proses merubah tipe analisis tersebut dapat dilakukan seperti langkah berikut:

Klik kanan Modal pada Static Structure > pilih 3D pada properti di samping

3.8.3 Pembacaan hasil analisis struktur

Setelah model disesuaikan dengan model pada analisis struktur, selanjutnya dilakukan pembacaan pada file hasil analisis struktur yang pada sebelumnya sudah dijelaskan berupa file .rst (*result structure*). Cara membaca file rst adalah sebagai berikut:

Klik Solution > Pilih Tools > Read Result Files > pilih file rst

3.8.4 *Solve* hasil analisis struktur

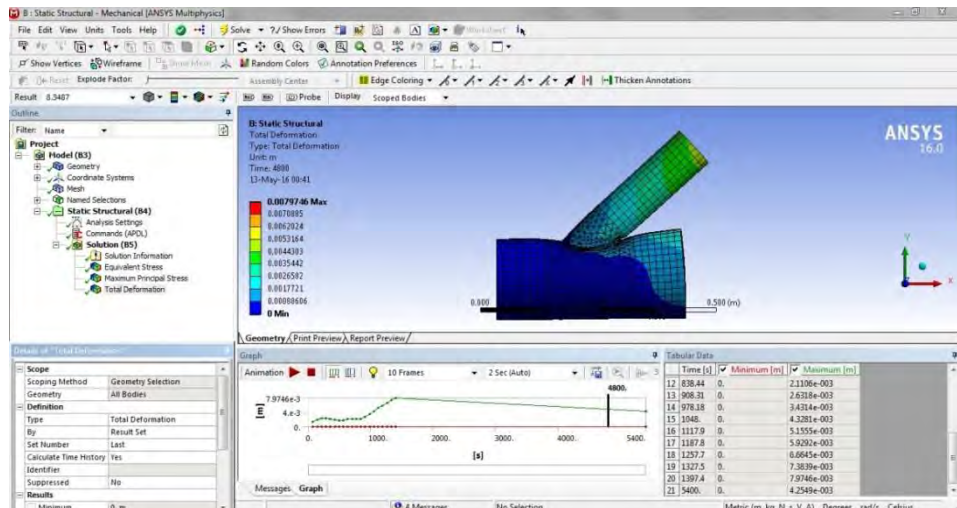
Sebelum melakukan penyelesaian hasil analisis struktur yang sudah berhasil diinput, langkah selanjutnya adalah memilih apa saja yang ingin didapatkan dari analisis struktur. Pada penelitian ini karena bertujuan untuk mendapatkan tegangan sisa dan distorsi, maka yang dipilih adalah

deformasi dan tegangan Von Mises. Langkah memilih hasil yang diinginkan adalah sebagai berikut:

Pilih hasil yang diinginkan seperti Deformation Total pada kolom atas
 macam-macam Solution > Klik kanan Solution pada kolom Outline >
 Evaluate All Results

3.8.5 Distorsi

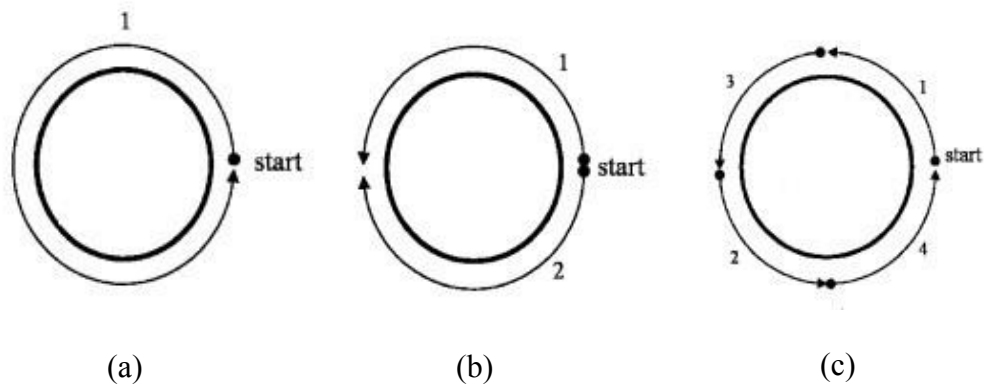
Setelah *solve* dilakukan, maka akan muncul beberapa hasil yang diinginkan sebelumnya. Tampak pada Gambar 3.7 merupakan contoh salah satu hasil *solve* yaitu mengetahui besar distorsi yang terjadi pada model.



Gambar 3.7. Contoh hasil analisis struktur berupa distorsi pada *software* ANSYS Workbench

3.9 Pemodelan dengan variasi urutan pengelasan

Pemodelan diulang kembali seperti sebelumnya dengan perbedaan terletak pada variasi urutan pengelasan yang dapat dilihat seperti pada Gambar 3.8 di bawah ini:



Gambar 3.8. Jenis urutan pengelasan yang digunakan pada tugas akhir adalah (a) menerus, (b) simetri, dan (c) loncat.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

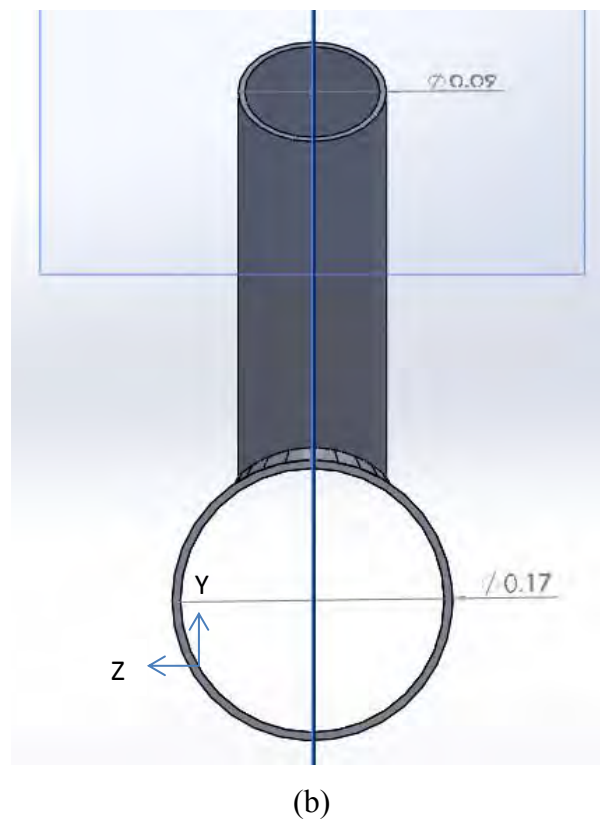
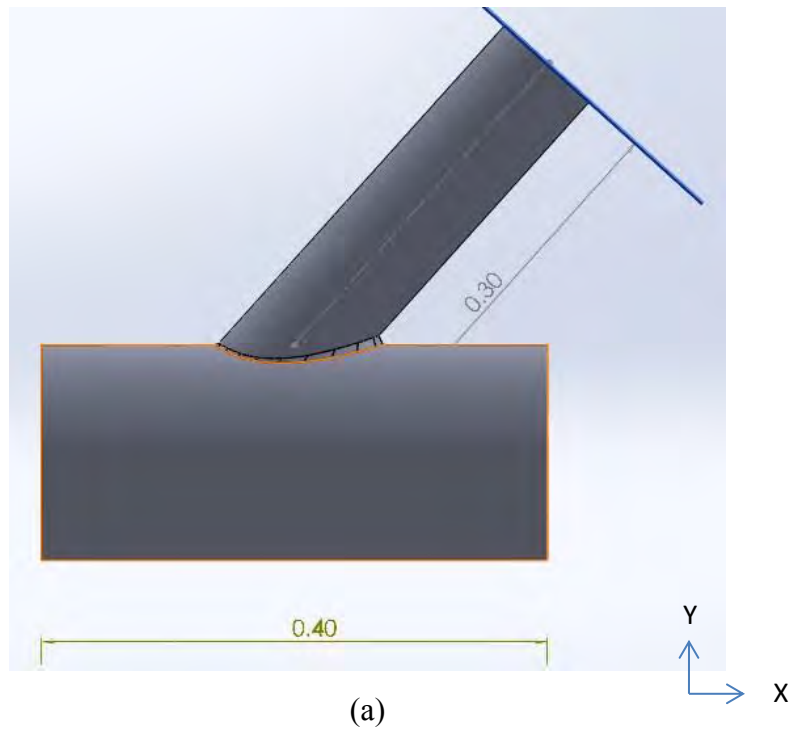
4.1 Pemodelan Geometri

Pada penelitian ini akan dilakukan pemodelan pengelasan melingkar pada sambungan tubular joint Y. Data pemodelan geometri dikerjakan sesuai dengan data dari penelitian Awang (2009). Pada pemodelan penampang kampuh las dibagi menjadi 20 elemen.

Pembuatan model geometri sambungan tubular tipe Y menggunakan *software* SolidWorks dengan besar diameter, tebal, sudut brace material sesuai dengan data yang sudah diperoleh sebelumnya, data model tubular tipe Y dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan dimodelkan seperti pada Gambar 4.1.

Tabel 4.1. Data Geometri Model

No	Parameter	Nilai
1.	Chord	
	• Outer Diameter (OD)	0.17 m
	• Wall Thickness (WT)	0,01 m
	• Panjang	0.4 m
2.	Brace	
	• Outer Diameter (OD)	0,09 m
	• Wall Thickness (WT)	0,008 m
	• Panjang	0.3 m
	• Sudut	48 deg.



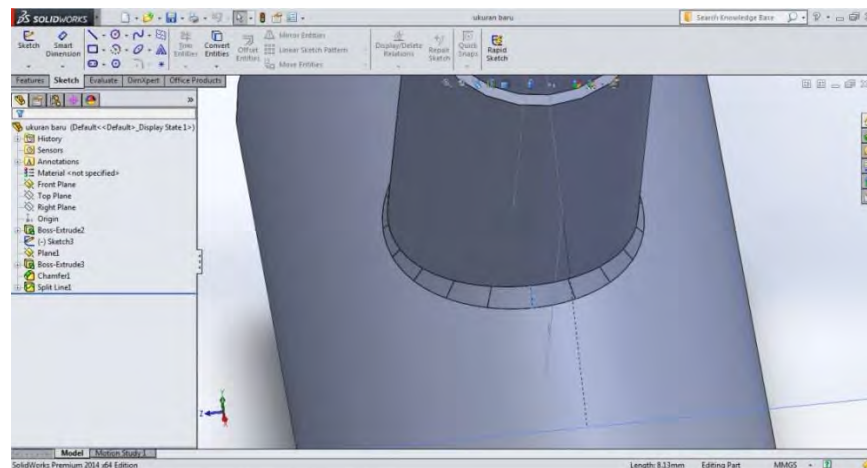
Gambar 4.1. Model Geometri Tubular Tipe Y pada *software* SolidWorks tampak depan (a) dan tampak samping (b).

4.2 Menghitung Beban Heat Flux

Pada analisis termal, beban yang diterima material berupa beban *heat flux*. Beban *heatflux* merupakan beban panas dari pengelasan yang diterima oleh tiap elemen pada area pengelasan, yang dimana beban *heatflux* diperoleh dari besar *heat input*. *Heat input* didapatkan dari pengaruh nilai parameter pengelasan yang berupa arus listrik pengelasan, tegangan pengelasan, dan nilai efisiensi jenis pengelasan yang digunakan. Oleh karena itu sebelum melakukan analisis termal, perhitungan beban *heat flux* sangat diperlukan. Pada penelitian ini, kampuh las dibagi menjadi beberapa elemen sesuai dengan keliling luar kampuh las. Berikut merupakan langkah- langkah perhitungan *heat flux*:

1. Mencari panjang dan lebar 1 area pengelasan

Mencari panjang dan lebar 1 area pengelasan dihitung dengan menggunakan bantuan *software* SolidWork, dengan melihat keterangan area panjang dan lebar pada keterangan “Length” yang terletak di bagian bawah, seperti tampak pada Gambar 4.2 Panjang dan lebar yang diambil merupakan panjang dan lebar terbesar pada daerah pengelasan.



Gambar 4.2. Mencari panjang dan lebar area pengelasan dengan *software* SolidWork

Diketahui dari langkah diatas, bahwa panjang dan lebar 1 area pengelasan pada pemodelan ini adalah sebagai berikut:

$$\text{panjang 1 area} = 23.07 \text{ mm}$$

$$\text{lebar 1 area} = 8.13 \text{ mm}$$

2. Menghitung waktu pengelasan tiap 1 area pengelasan

Kecepatan pengelasan tiap 1 area pengelasan dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kecepatan pengelasan} = 2 \text{ mm/detik}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu pengelasan tiap} &= \frac{\text{panjang 1 area terbesar}}{\text{kecepatan pengelasan}} \\ \text{1 area pengelasan} &= 23.07 / 2 \\ &= 11.54 \text{ detik} \end{aligned}$$

3. Menghitung heat flux pada permukaan

Dengan menggunakan persamaan 3.1, besar heat flux yang dibebankan pada permukaan elemen pengelasan yaitu:

$$\begin{aligned} Q &= \eta \times U \times I \\ &= 0.75 \times 22 \times 110 \\ &= 1815 \text{ Watt} \end{aligned}$$

4. Menghitung heat flux pada elektroda

Dengan menggunakan persamaan 3.6, besar heat flux yang dihasilkan oleh elektroda, yaitu:

$$\begin{aligned} q_e &= \frac{Q}{A_e} & A_e &= 1/4 \pi (D \text{ elektroda}^2) \\ &= \frac{Q}{A_e} & &= 0.25 \times 3.14 \times (3.2^2) \\ &= \frac{1815}{8} & &= 8 \text{ mm}^2 \\ &= 225.79 \text{ Watt/mm}^2 \end{aligned}$$

5. Menghitung heat flux tiap 1 area

Menggunakan persamaan 3.4, maka besar heat flux yang dibebankan pada tiap 1 area dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_1 &= q_e \times \frac{A_1}{A_f} \\
 &= 225.79 \times \frac{11.72}{187.56} \\
 &= 14.111950 \text{ Watt/mm}^2
 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{\text{luas area pengelasan}}{\text{Jumlah elemen tiap 1 area pengelasan}} \\
 &= \frac{23.07 \times 8.13}{16} \\
 &= 11.72 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

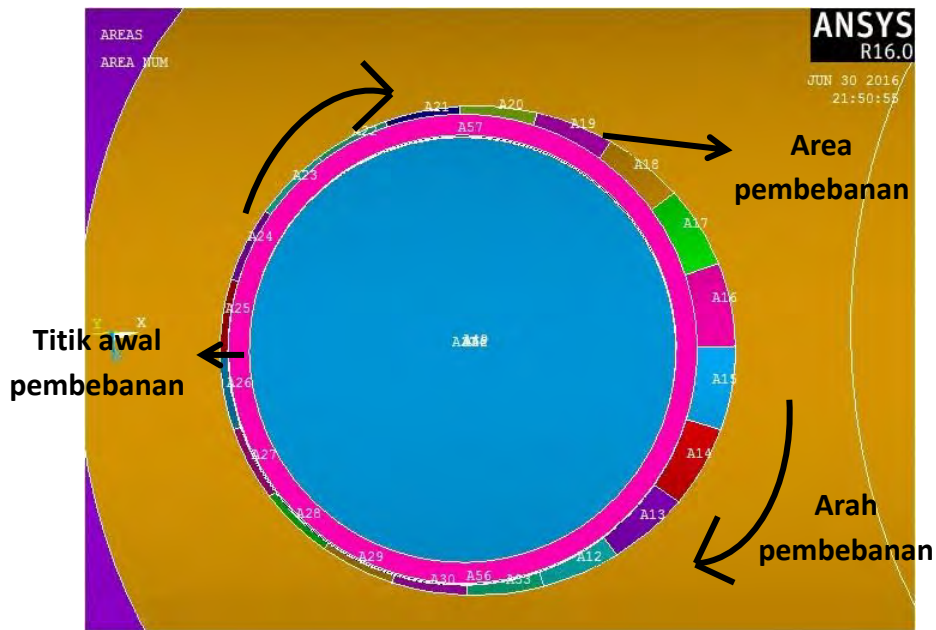
Sedangkan nilai A_f dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.5 yaitu:

$$\begin{aligned}
 A_f &= b \cdot v \cdot t \\
 &= 8.13 \times 2 \times 11.54 \\
 &= 187.56 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

4.3 Kondisi Pemodelan

4.3.1 Kondisi Pemodelan Analisis Termal

Analisis termal dilakukan dengan mensimulasikan pengelasan yang mendapatkan pembebanan *heatflux*, area pengelasan dibagi menjadi 20 area pembebanan seperti pada Gambar 4.3. Pada simulasi pengelasan dilakukan sebanyak 21 *load step*, yang dimana pada *loadstep* terakhir merupakan pembebanan termal yang terjadi selama pendinginan setelah pengelasan.



Gambar 4.3. Area pembebanan panas

Loadstep untuk simulasi pengelasan dapat dilihat pada Tabel 4.2 seperti di bawah ini.

Tabel 4.2 *Load step* simulasi pengelasan

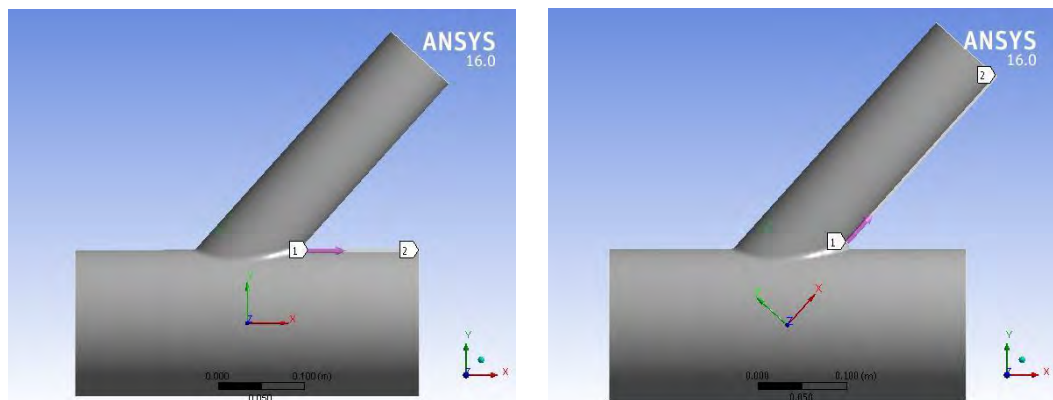
<i>Load step</i>	Area Pembebanan	Waktu Pembebanan (s)
<i>Load step 1</i>	A25	12
<i>Load step 2</i>	A24	24
<i>Load step 3</i>	A23	36
<i>Load step 4</i>	A22	48
<i>Load step 5</i>	A21	60
<i>Load step 6</i>	A20	72
<i>Load step 7</i>	A19	84
<i>Load step 8</i>	A18	96
<i>Load step 9</i>	A17	108
<i>Load step 10</i>	A16	120
<i>Load step 11</i>	A15	132
<i>Load step 12</i>	A14	144
<i>Load step 13</i>	A13	156
<i>Load step 14</i>	A12	168
<i>Load step 15</i>	A33	180
<i>Load step 16</i>	A10	192

Tabel 4.2 *Load step* simulasi pengelasan (lanjutan)

<i>Load step</i> 17	A29	204
<i>Load step</i> 18	A28	216
<i>Load step</i> 19	A27	228
<i>Load step</i> 20	A26	240
<i>Load step</i> 21	Semua area	5400

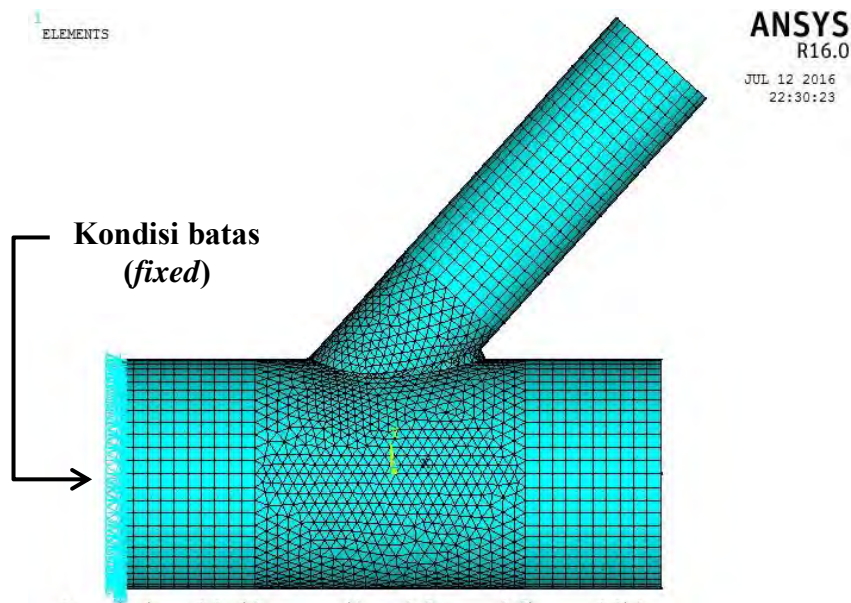
4.3.2 Kondisi Pemodelan Analisis Struktural

Sedangkan untuk validasi hasil analisis struktural dilakukan dengan melihat hasil tegangan maksimal yang terjadi pada garis acuan di bagian *chord* dan *brace* yang disesuaikan dengan hasil penelitian G.C. Jang (2007) seperti tampak pada Gambar 4.4 (a) dan (b). Validasi struktural dilakukan untuk melihat apakah pemberian beban dan kondisi batas sudah mewakili keadaan sebenarnya atau tidak.



Gambar 4.4. Garis acuan pada *chord* (a) dan *brace* (b) yang digunakan pada analisis struktur

Analisis struktur dilakukan dengan pemberian batas jepit (*fixed*) pada ujung sebelah kiri *chord* seperti pada Gambar 4.5.



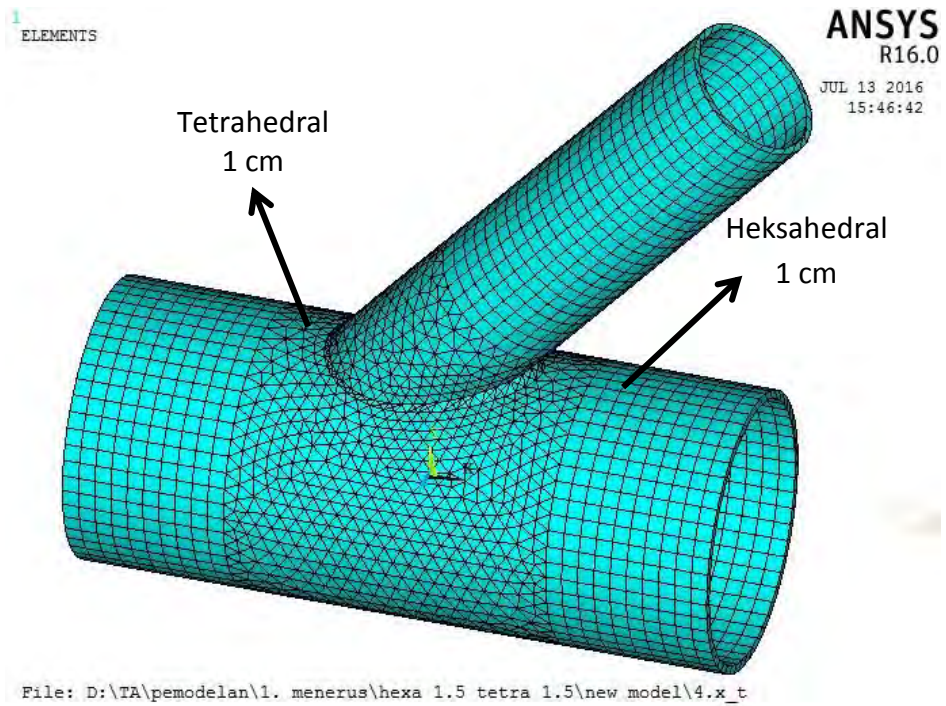
Gambar 4.5. Kondisi batas yang digunakan pada analisis struktur

4.4 *Meshing* Sensitivity Analysis

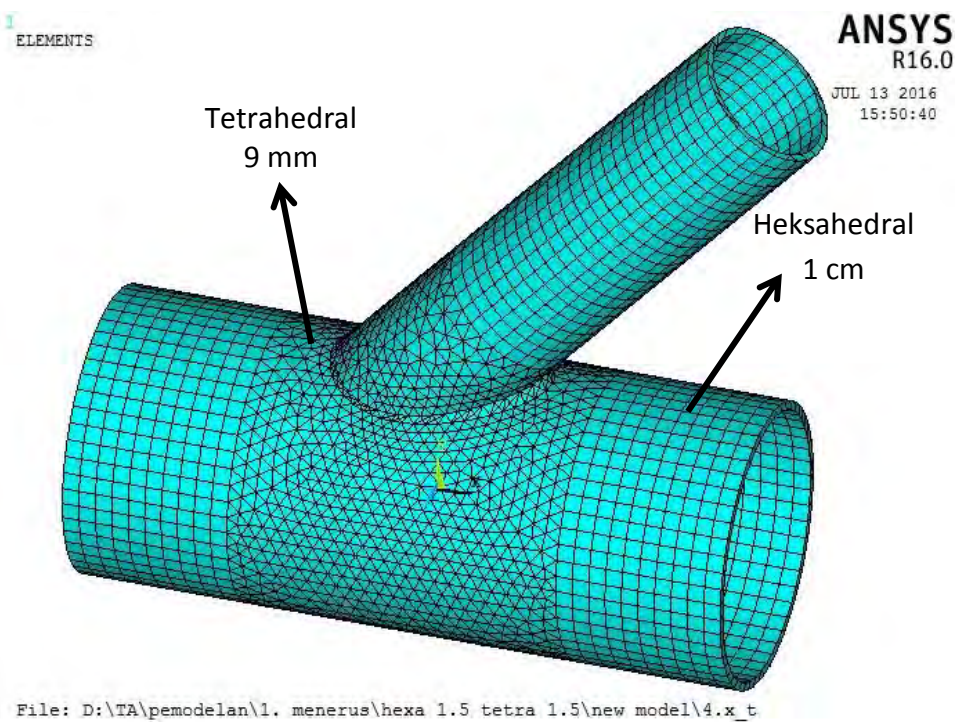
Meshing sensitivity analysis adalah analisis yang menggunakan variasi beberapa jumlah elemen yang digunakan untuk *meshing*. *Meshing* merupakan pembagian suatu model menjadi elemen-elemen kecil yang ukuran maupun jumlahnya bisa diatur sesuai kebutuhan. Dari variasi tersebut akan didapatkan beberapa data yang lalu akan digambarkan dalam sebuah grafik. Maka dari grafik tersebut akan dicari dimana titik konvergensinya, yaitu titik-titik yang akan mulai berbentuk garis lurus atau stabil, yang menandakan bahwa pada *meshing* tersebut hasil data yang ditinjau sudah sesuai dengan keadaan sebenarnya.

Dalam proses analisis sensitivitas *meshing* dilakukan dengan memvariasikan *meshing* pada model. Pada umumnya, semakin kecil ukuran suatu *meshing* tersebut, semakin besar pula kemungkinan konvergensinya. Tetapi semakin kecil ukuran suatu *meshing* pada model, maka semakin banyak pula elemen yang dihasilkan. Menyebabkan semakin lama proses *running*-nya dan hasil yang didapatkan akan lebih memakan kapasitas memori komputer.

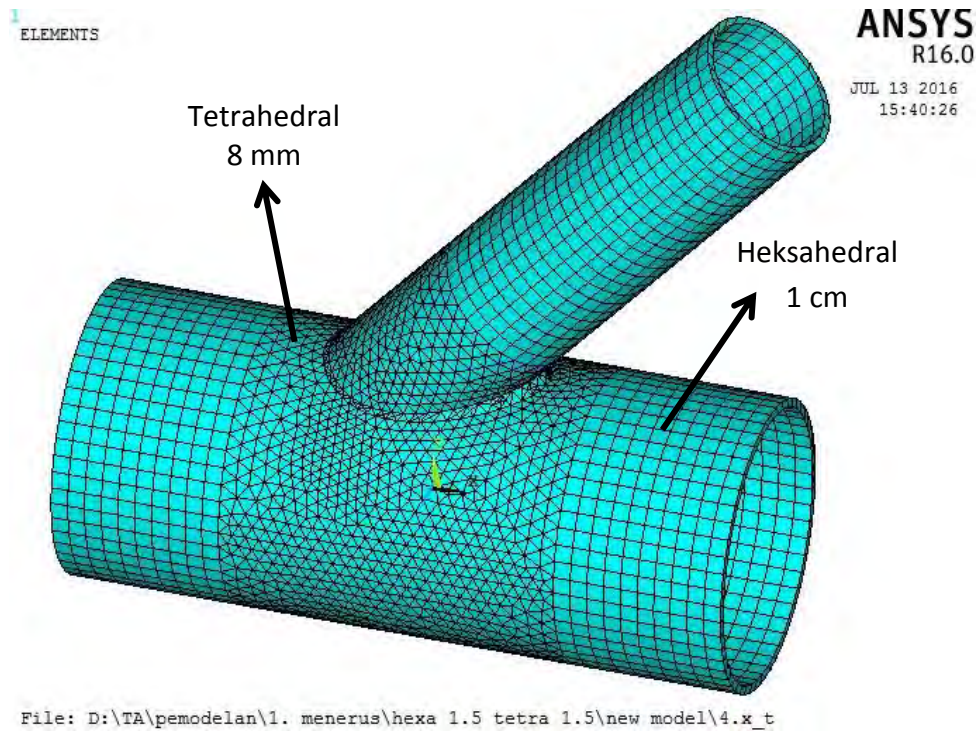
Pada penelitian ini, analisis sensitivitas *meshing* dilakukan dengan membandingkan tegangan maksimum di titik acuan tertentu pada tiap variasi elemen yang dihasilkan dari analisis struktur. Variasi *meshing* yang dilakukan tampak seperti pada Gambar 4.6-4.9 di bawah ini:



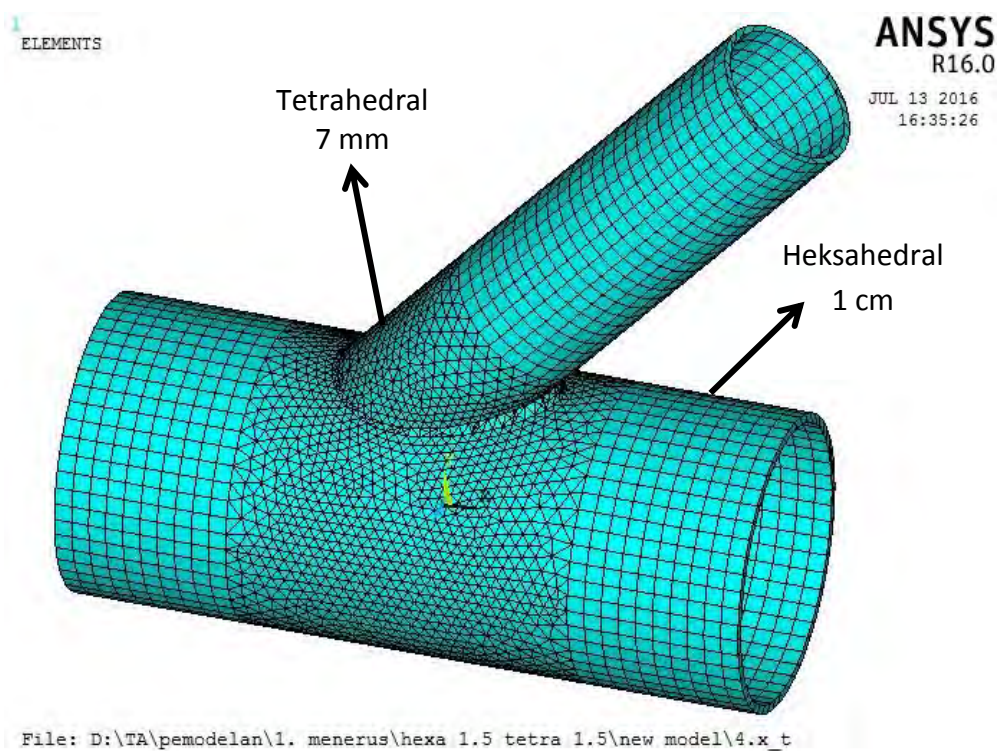
Gambar 4.6. *Meshing 1* jumlah total elemen 9415



Gambar 4.7. *Meshing 2* jumlah total elemen 10827



Gambar 4.8. *Meshing 3* jumlah total elemen 13448



Gambar 4.9. *Meshing 4* jumlah total elemen 15868

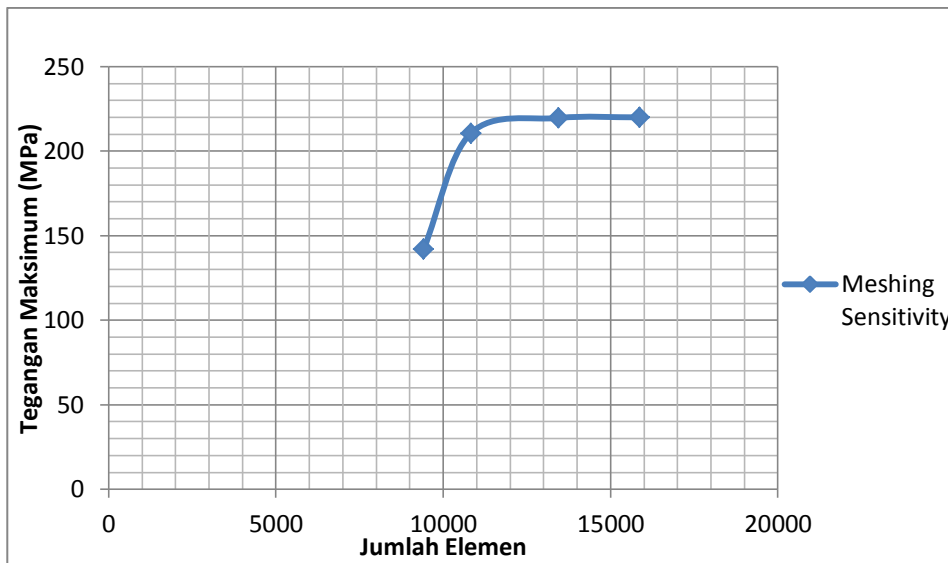
ANSYS R16.0
JUL 12 2016
22:18:27

Titik acuan

File: C:\Users\user\Documents\ANSYS\workspace\hexa_1.5\hexa_1.5_new_model\4.kwt

Dari data hasil pemodelan variasi *meshing* tersebut, maka didapatkan besar tegangan maksimal sesuai dengan variasi *meshing* seperti pada Tabel 4.3 di bawah ini:

Nama Meshing	Jumlah Elemen	Tegangan Sisa Maksimal (MPa)
1	9415	230
2	10827	246
3	13448	247
4	15868	246



Gambar 4.11. Grafik tegangan maksimum pada variasi jumlah elemen untuk *Analisis Meshing Sensitivity*

Pada Gambar 4.11 diatas dapat dilihat grafik hasil pemodelan struktural menggunakan *software* ANSYS Mechanical yang menghasilkan tegangan sisa maksimum berbanding dengan jumlah elemen yang digunakan pada saat analisis sensitivitas *meshing*. Grafik menunjukkan semakin banyak elemen *meshing* pada model, semakin konstan pula nilai tegangan yang didapat mendekati dengan hasil percobaan. grafik seperti inilah yang dinyatakan telah konvergen. Maka *meshing* jumlah elemen yang digunakan adalah *meshing 1* dengan eumlah elemen yang digunakan adalah 13448 elemen, dengan rincian *meshing* yang digunakan adalah heksahedral sebesar 1 cm dan tetrahedral sebesar 8 mm.

4.5 Validasi Model

Validasi model diperlukan karena pada penelitian ini hanya memodelkan suatu simulasi pengelasan hingga didapatkannya distribusi panas, tegangan sisa dan distorsi, sehingga perlu dilakukan validasi dengan hasil penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya agar mendapatkan pola atau tren yang sama.

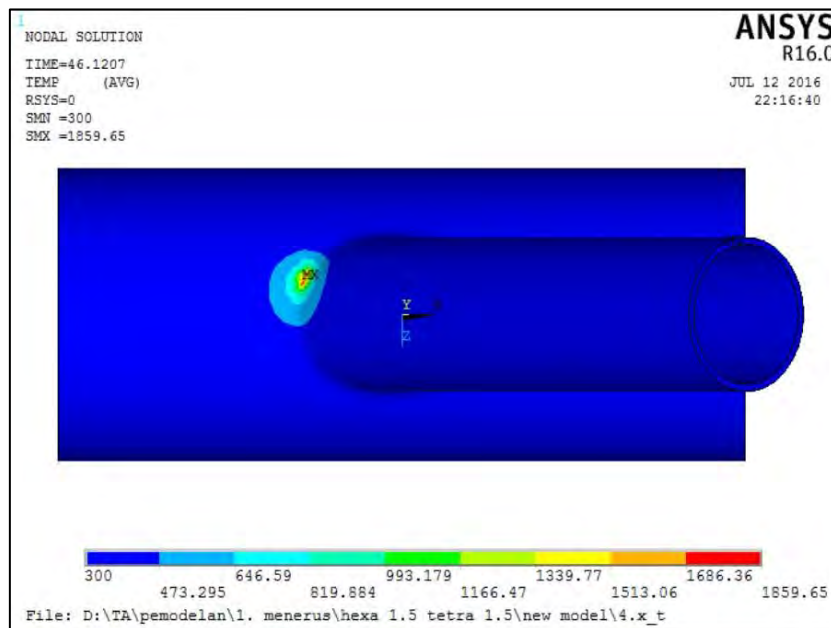
Pada penelitian ini dilakukan validasi terhadap distribusi panas dan tegangan sisa, data validasi yang digunakan adalah berasal dari penelitian yang dilakukan oleh G. C. Jang, dkk (2007). Hasil dari analisis struktur berupa

tegangan sisa akan divalidasikan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh G. C. Jang, dkk (2007) sebagai fungsi waktu dan jarak daerah acuan dari area pengelasan dalam grafik.

Apabila grafik hasil pemodelan dengan hasil percobaan telah mendekati atau memiliki kecenderungan bentuk yang sama, maka validasi model telah berhasil dilakukan dan dianggap benar.

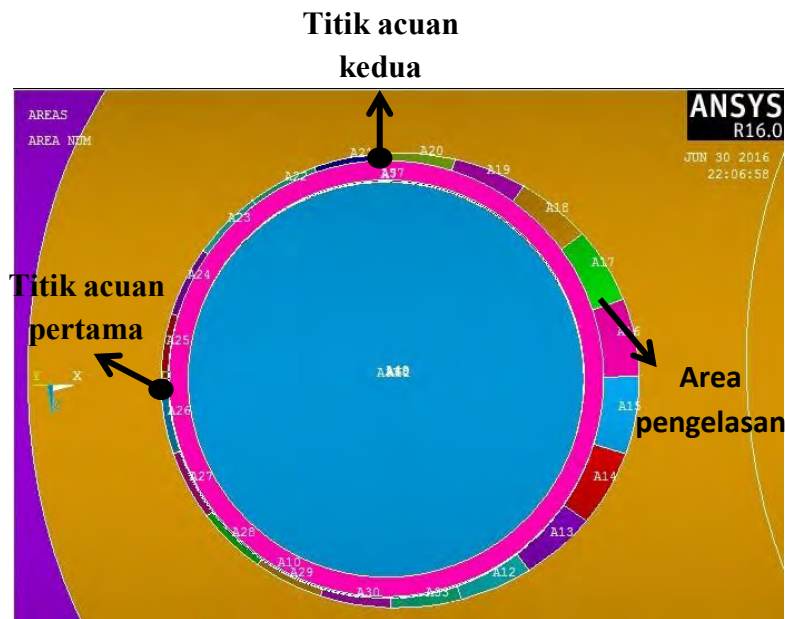
4.5.1 Validasi Hasil Analisis Termal

Dari hasil pembebanan serta waktu yang diberikan pada setiap kondisi pembebanan seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab 4.3.1, maka didapatkan ilustrasi simulasi pengelasan seperti pada Gambar 4.12.



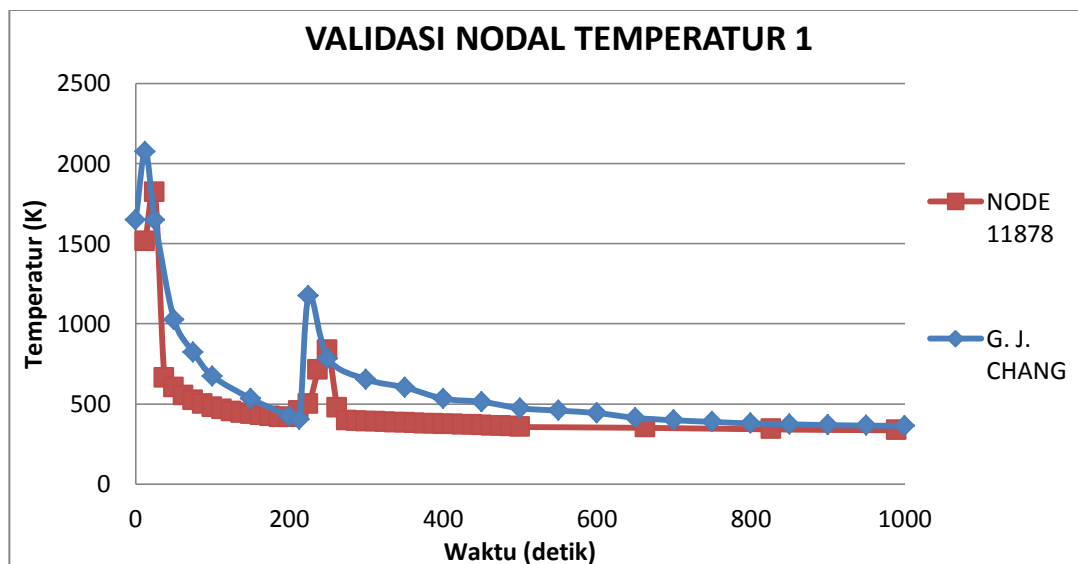
Gambar 4.12. Ilustrasi pembebanan pengelasan tampak atas

Validasi hasil analisis termal ditinjau dari dua titik pengamatan, yang pertama berada tepat pada titik awal pengelasan dan titik acuan kedua terletak pada seperempat total pembebanan yaitu seperti pada Gambar 4.13 disesuaikan dengan referensi dari G. C. Jang (2007).

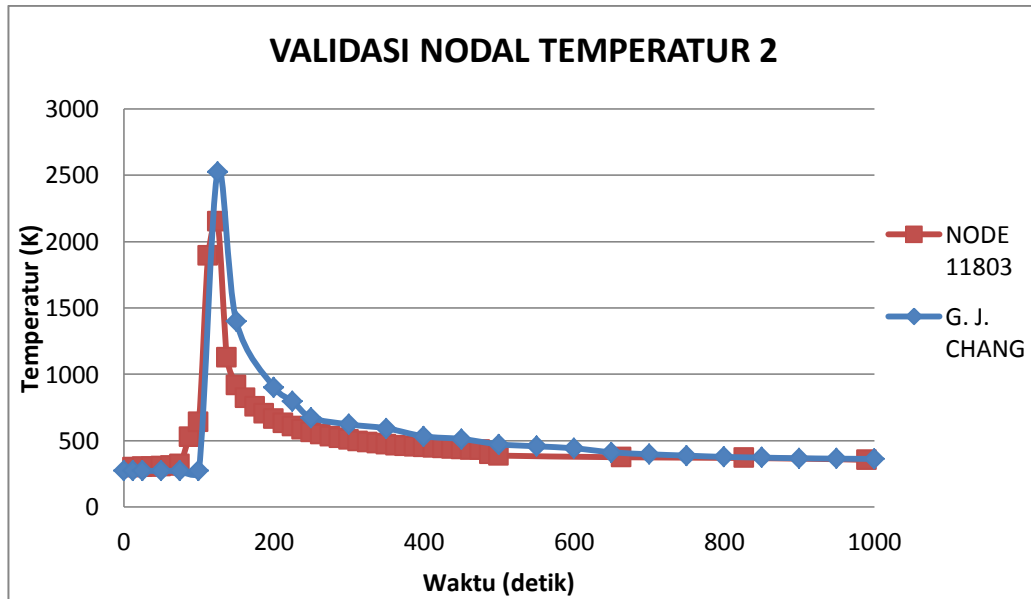


Gambar 4.13. Titik acuan pertama dan kedua pada validasi analisis termal

Dari hasil analisis termal pada pemodelan, didapatkan grafik distribusi panas beserta validasi dari G. C. Jang (2007) seperti pada Gambar 4.14 untuk titik acuan pertama dan Gambar 4.15 untuk titik acuan kedua. Validasi diperlukan untuk memastikan kebenaran analisis pemodelan kita dengan hasil penelitian. Hasil pemodelan dianggap telah benar yaitu dengan cara melihat bentuk grafik pemodelan yang mendekati atau sama dengan hasil, demikian juga nilainya yang tidak terlalu jauh berbeda.



Gambar 4.14. Validasi distribusi panas pada titik acuan pertama

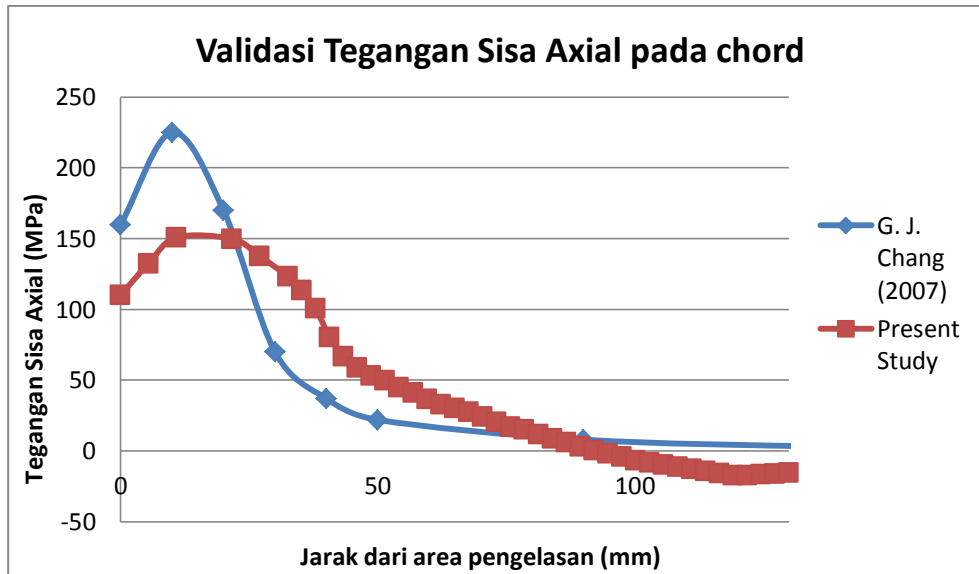


Gambar 4.15. Validasi distribusi panas pada titik acuan kedua

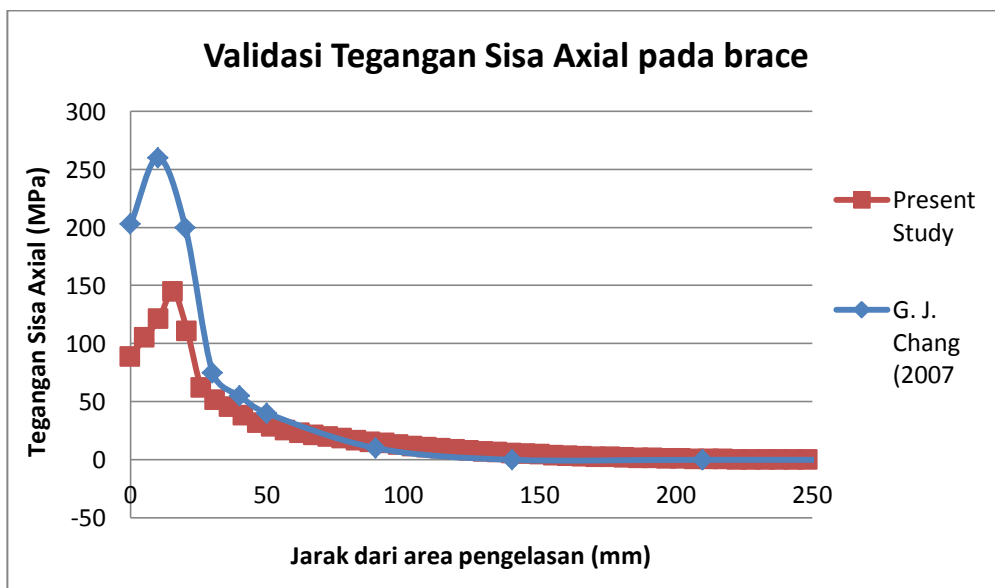
Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa titik panas tertinggi pada nodal pertama sebesar 1818.2° Kelvin dan pada nodal kedua sebesar 2150.58° Kelvin, serta distribusi panas pada hasil pemodelan tugas akhir ini memiliki kecenderungan bentuk yang sama dengan distribusi panas pada hasil penelitian yang dilakukan oleh G. C. Jang (2007). Hal ini membuktikan bahwa pemodelan yang dilakukan pada tugas akhir ini sudah dianggap benar meskipun nilainya berbeda yang disebabkan oleh parameter yang digunakan pada tugas akhir ini berbeda dengan G. C. Jang (2007).

4.5.2 Validasi Hasil Analisis Struktural

Dari hasil analisis struktur pada pemodelan, didapatkan grafik data tegangan maksimal terhadap jarak area pengelasan dan divalidasikan dengan sesuai dengan hasil penelitian G. C. Jang (2007) yang dapat dilihat pada Gambar 4.16 untuk bagian *chord* dan Gambar 4.17 untuk bagian *brace* di bawah ini.



Gambar 4.16. Validasi tegangan sisa aksial pada garis acuan di *chord*

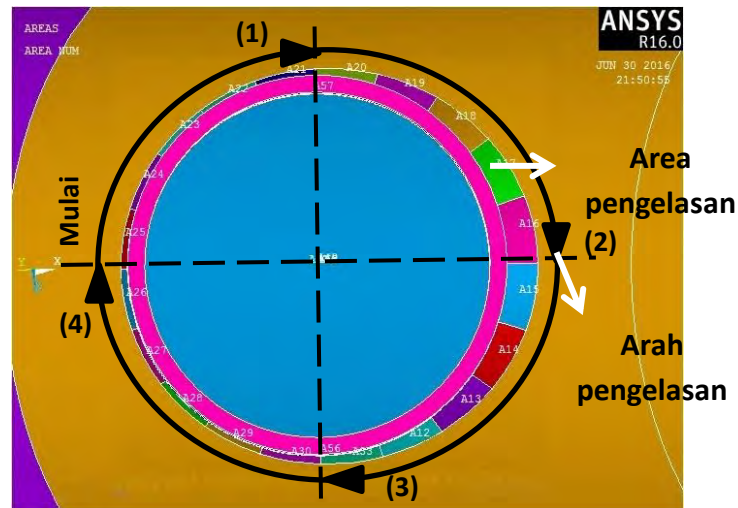


Gambar 4.17. Validasi tegangan sisa aksial pada garis acuan di *brace*

Berdasarkan validasi yang telah dilakukan terhadap analisis termal dan struktur, model sudah dianggap valid atau benar karena memperlihatkan hasil bentuk grafik yang cenderung sama dengan hasil penelitian G. C. Jang (2007) meskipun terdapat beberapa nilai yang tidak sama.

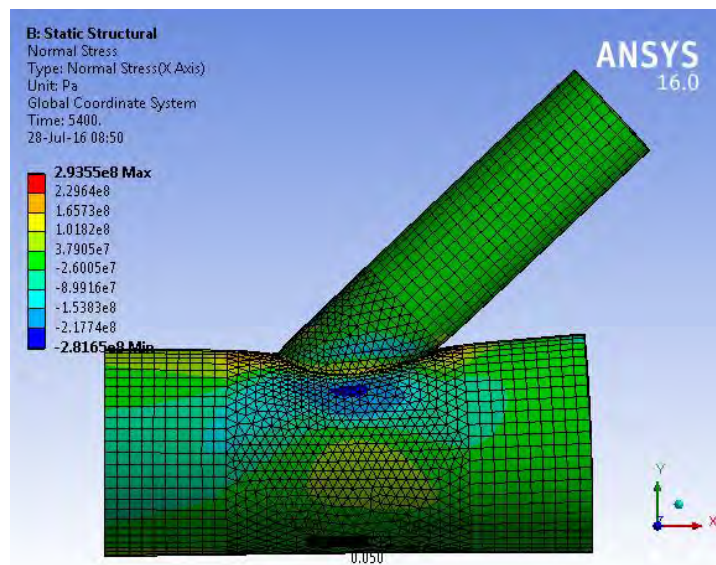
4.6 Analisis Struktur Variasi Urutan Pengelasan Menerus

Analisis struktur variasi pertama adalah variasi urutan pengelasan secara menerus, yaitu pengelasan yang dilakukan secara melingkar penuh dimulai dari titik awal pengelasan yang sama dengan titik akhir pengelasan yang dapat dilihat pada Gambar 4.18 di bawah ini.



Gambar 4.18. Variasi urutan pengelasan menerus

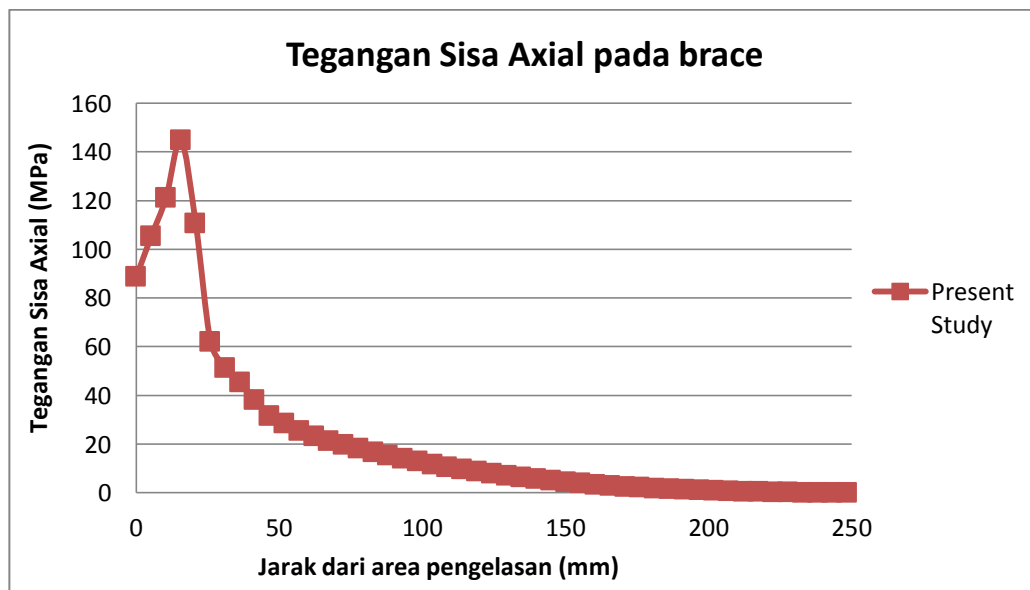
Berdasarkan hasil running ansys dapat dilakukan analisa tegangan sisa dan distorsi dengan hasil seperti pada Gambar 4.19 berikut:



Gambar 4.19. Tegangan Sisa pada Sambungan Tubular Y urutan pengelasan menerus



Gambar 4.20. Tegangan sisa aksial pada *chord* hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan menerus

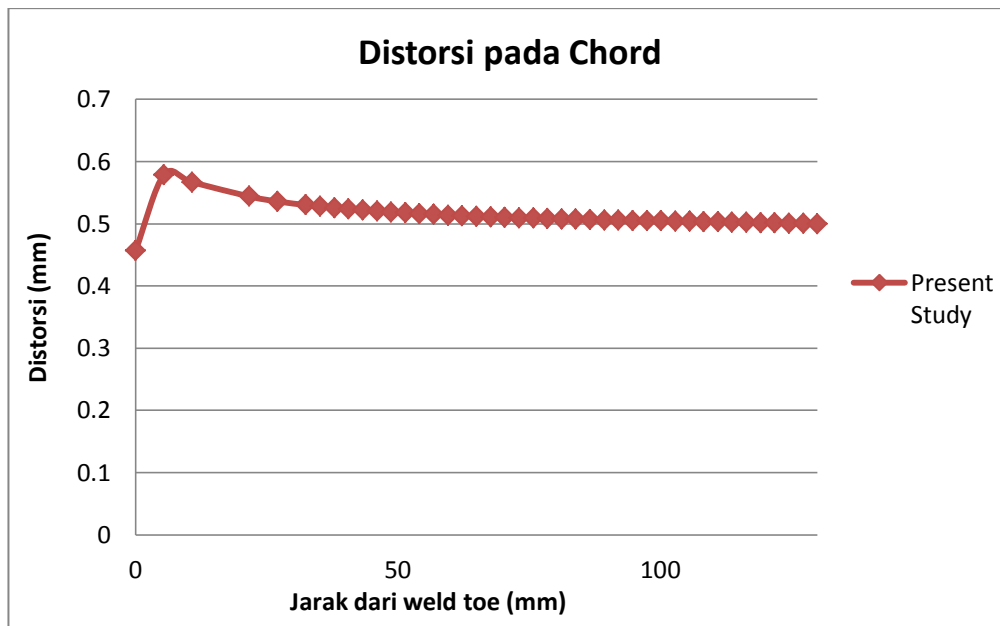


Gambar 4.21. Tegangan sisa aksial pada *brace* hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan menerus

Dari Gambar 4.20 dan 4.21 diatas dapat dilihat bahwa tegangan sisa aksial pada *chord* dan *brace* bernilai positif, dimana tegangan tersebut berupa tegangan tarik (*tensile stress*) pada daerah yang dekat dengan area

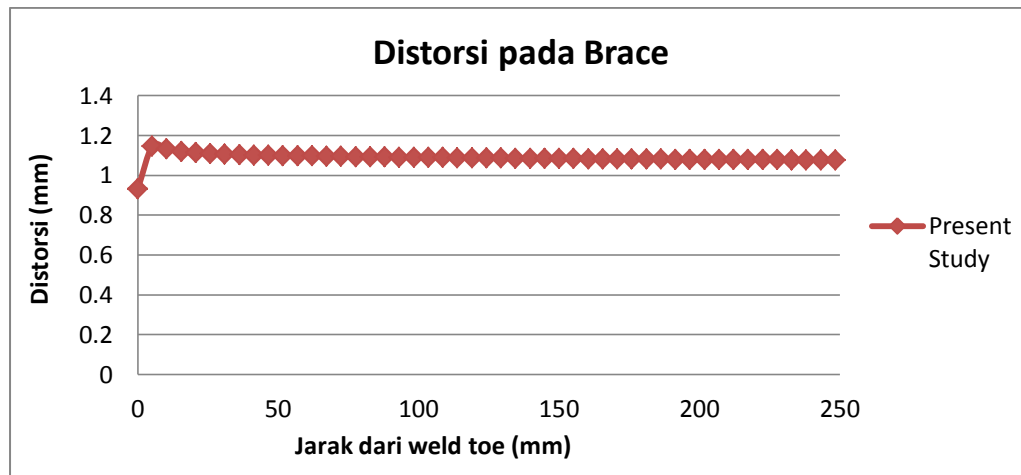
pengelasan. Dengan nilai tegangan tarik yang semakin kecil seiring dengan jauhnya jarak dari area pengelasan.

Pada bagian *chord* di jarak ± 95 mm dari jarak area pengelasan, tegangan aksial berubah menjadi tegangan tekan (*compression stress*) lalu mendekati angka nol. Sedangkan pada bagian *brace* besar nilai tegangan semakin jauh dari area pengelasan maka semakin mendekati nol, menunjukkan bahwa semakin jauh jarak dari area pengelasan maka semakin tidak terjadi tegangan aksial di daerah tersebut.



Gambar 4.22. Distorsi pada *chord* hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan menerus

Seperti pada Gambar 4.22 di atas, distorsi yang terjadi pada daerah *chord* memiliki nilai maksimum pada jarak di dekat area pengelasan dan semakin rendah nilai distorsinya di jarak yang semakin menjauhi area pengelasan.

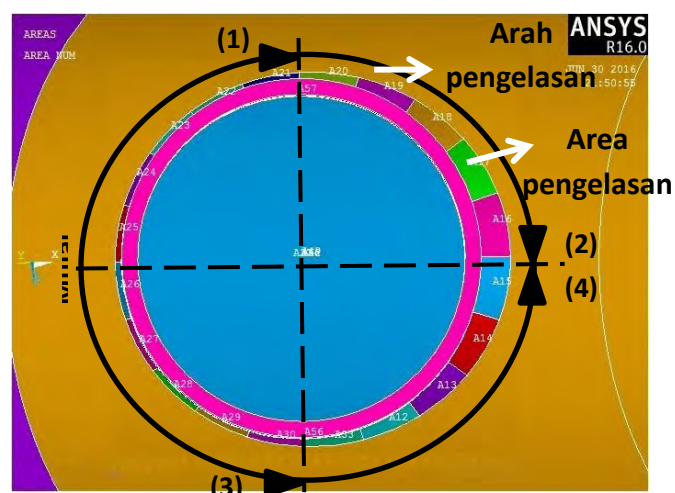


Gambar 4.23. Distorsi pada *brace* hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan menerus

Sama halnya seperti grafik pada Gambar 4.22, grafik distorsi pada Gambar 4.23 yang terjadi pada daerah *brace* memiliki nilai maksimum pada jarak di dekat area pengelasan dan semakin rendah nilai distorsinya di jarak yang semakin menjauhi area pengelasan.

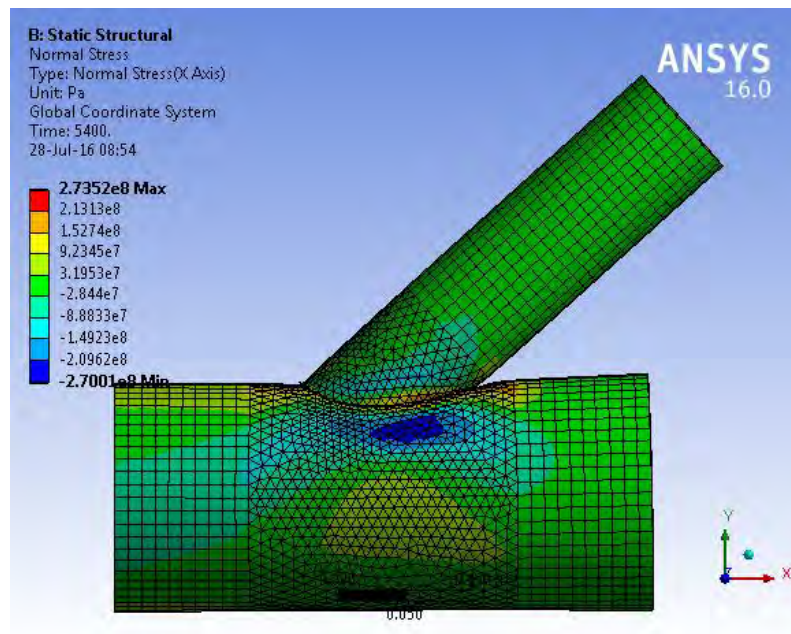
4.7 Analisis Struktur Variasi Urutan Pengelasan Simetri

Analisis struktur variasi kedua adalah variasi urutan pengelasan secara simetri, yaitu pengelasan yang dilakukan secara setengah lingkaran bergantian. Dimulai dari titik awal pengelasan yang sama dan berakhir di titik yang sama tetapi dengan arah yang berbeda, ilustrasi urutan pengelasan simetri dapat dilihat pada Gambar 4.24 di bawah ini.

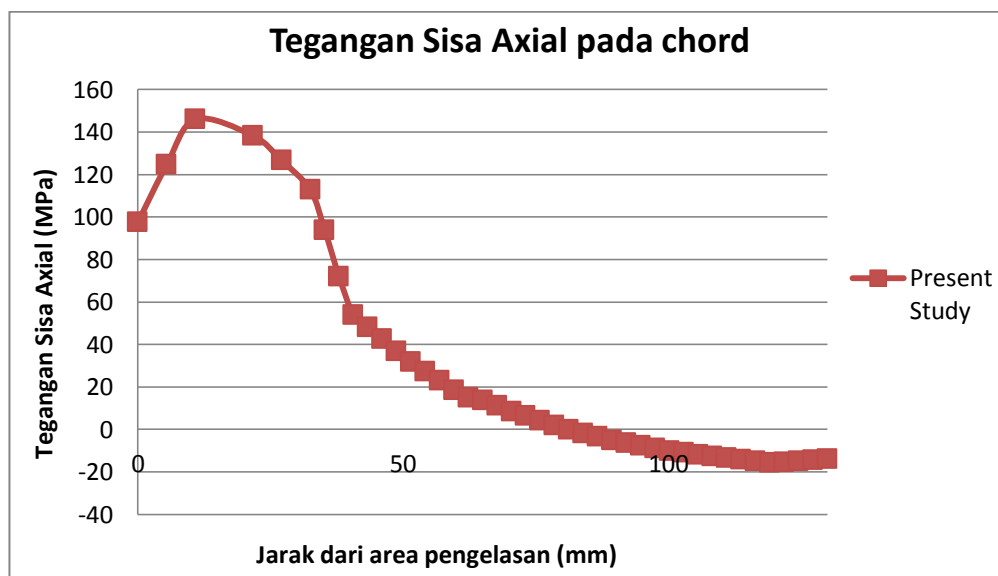


Gambar 4.24. Variasi urutan pengelasan simetri

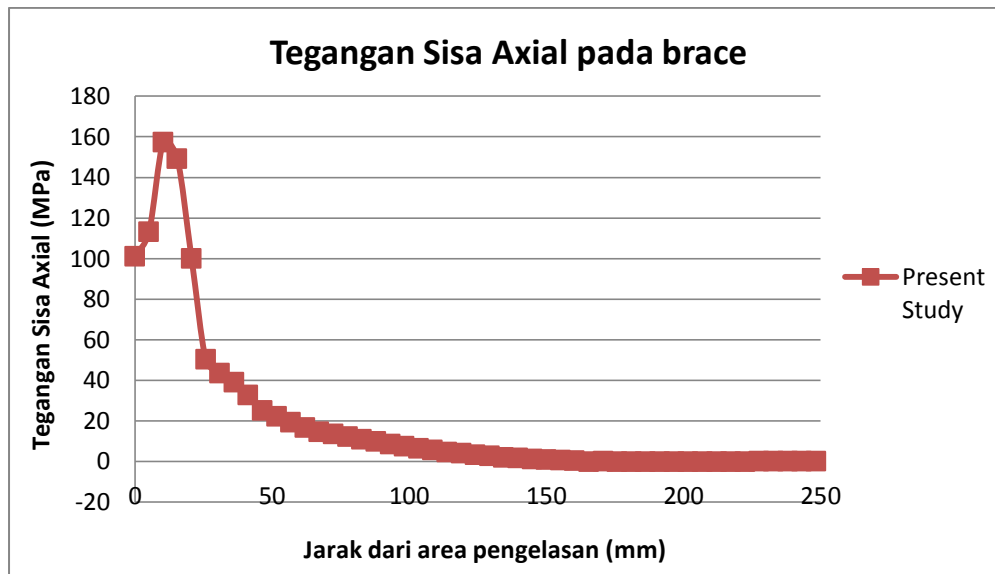
Berdasarkan hasil running ansys dapat dilakukan analisa tegangan sisa dan distorsi dengan hasil seperti pada Gambar 4.25 berikut:



Gambar 4.25. Tegangan Sisa pada Sambungan Tubular Y urutan pengelasan simetri



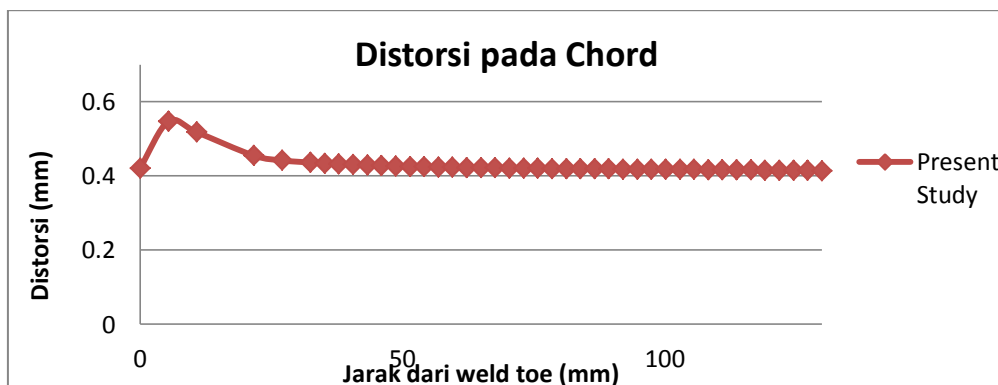
Gambar 4.26. Tegangan sisa aksial pada *chord* hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan simetri



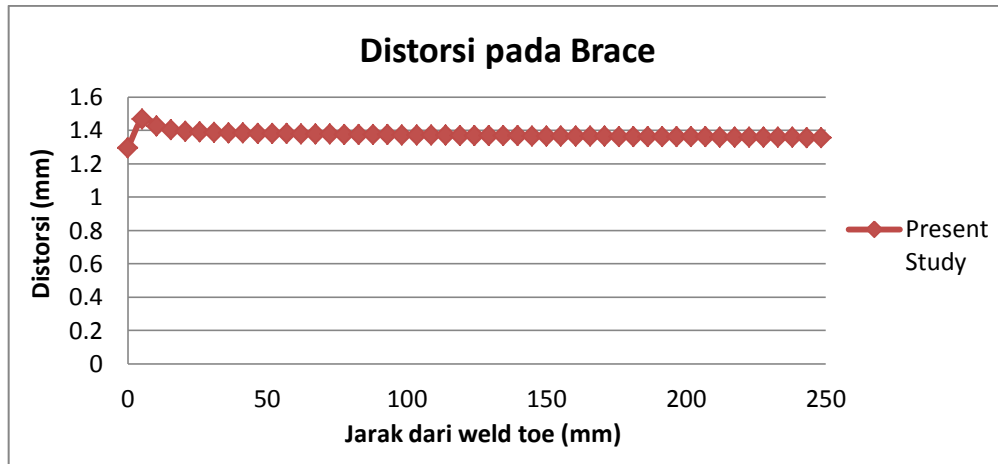
Gambar 4.27. Tegangan sisa aksial pada *brace* hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan simetri

Dari Gambar 4.26 dan 4.27 diatas dapat dilihat bahwa tegangan sisa aksial pada *chord* dan *brace* bernilai positif, dimana tegangan tersebut berupa tegangan tarik (*tensile stress*) pada daerah yang dekat dengan area pengelasan. Dengan nilai tegangan tarik yang semakin kecil seiring dengan jauhnya jarak dari area pengelasan.

Pada bagian *chord* di jarak ± 80 mm dari jarak area pengelasan, tegangan aksial berubah menjadi tegangan tekan (*compression stress*) lalu mendekati angka nol. Sedangkan pada bagian *brace* besar nilai tegangan semakin jauh dari area pengelasan maka semakin mendekati nol, menunjukkan bahwa semakin jauh jarak dari area pengelasan maka semakin tidak terjadi tegangan aksial di daerah tersebut.



Gambar 4.28. Distorsi pada *chord* hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan simetri

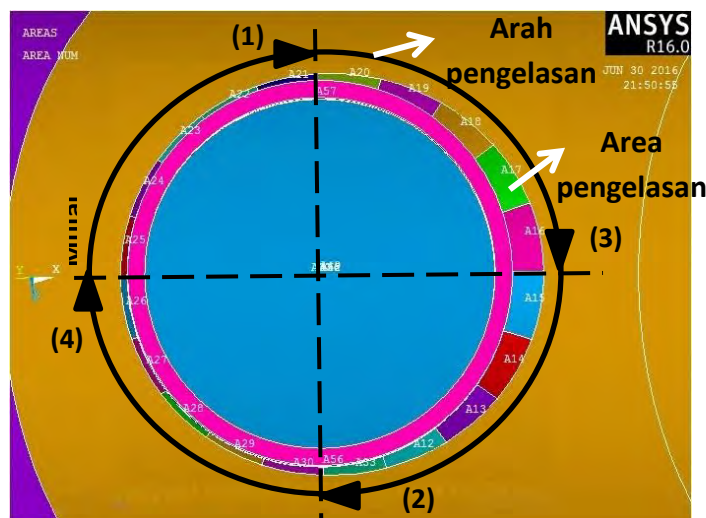


Gambar 4.29. Distorsi pada *brace* hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan simetri

Sama halnya seperti grafik pada Gambar 4.28, grafik distorsi pada Gambar 4.29 yang terjadi pada daerah *chord* dan *brace* memiliki nilai maksimum pada jarak di dekat area pengelasan dan semakin rendah nilai distorsinya di jarak yang semakin menjauhi area pengelasan.

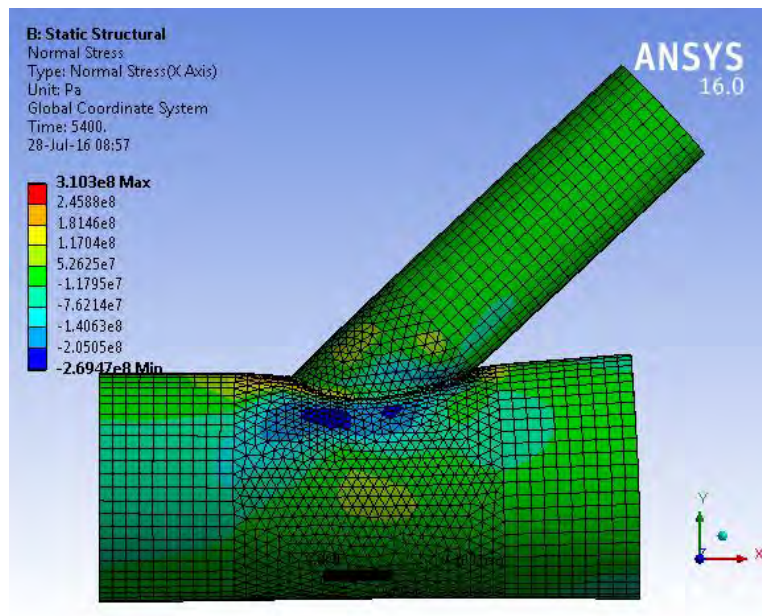
4.8 Analisis Struktur Variasi Urutan Pengelasan Loncat

Analisis struktur variasi ketiga dan terakhir adalah variasi urutan pengelasan secara loncat, yaitu pengelasan yang dilakukan secara seperempat lingkaran putus-putus yang berurutan,. Dimulai dari seperempat bagian pertama, kemudian seperempat bagian kedua di seberang bagian pertama, dan selanjutnya seperti pada Gambar 4.30 di bawah ini.

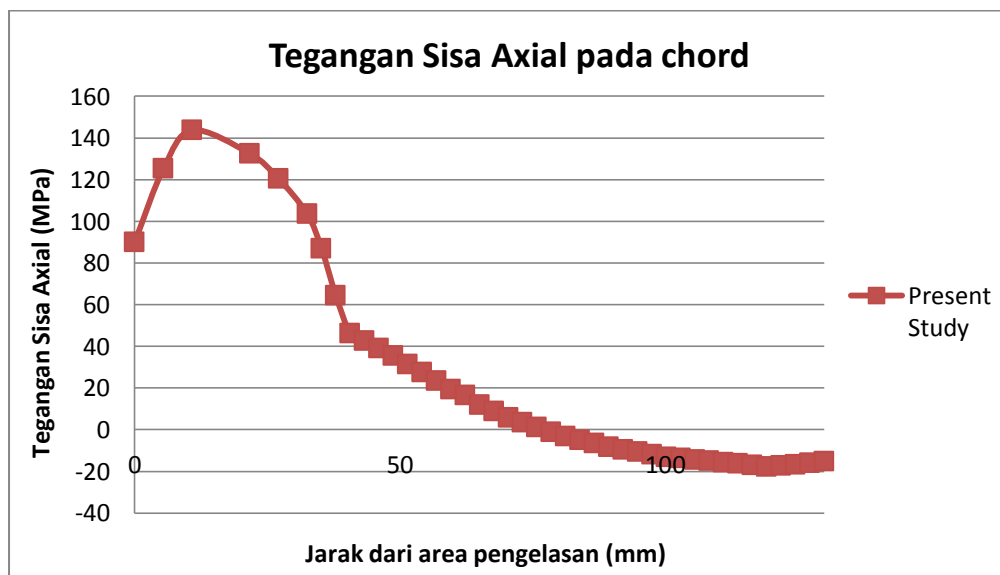


Gambar 4.30. Variasi urutan pengelasan loncat

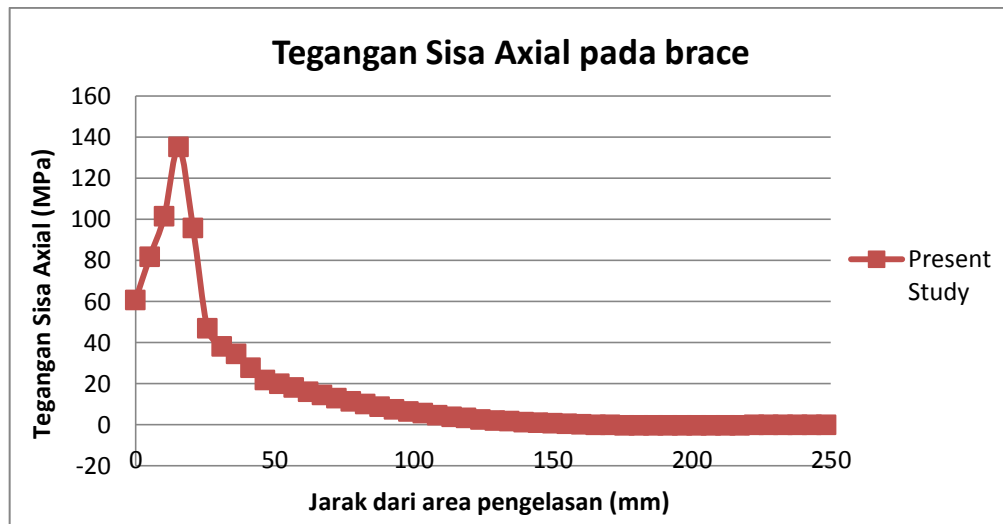
Berdasarkan hasil running ansys dapat dilakukan analisa tegangan sisa dan distorsi dengan hasil sebagai berikut:



Gambar 4.31. Tegangan Sisa pada Sambungan Tubular Y urutan pengelasan loncat



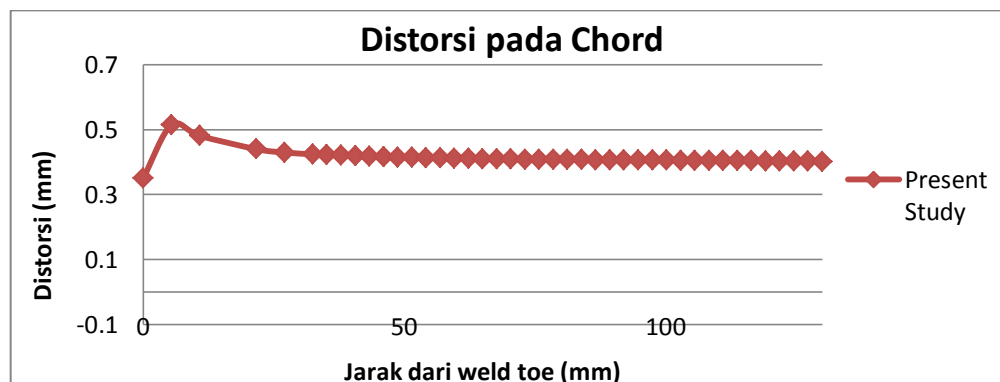
Gambar 4.32. Tegangan sisa aksial pada *chord* hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan loncat



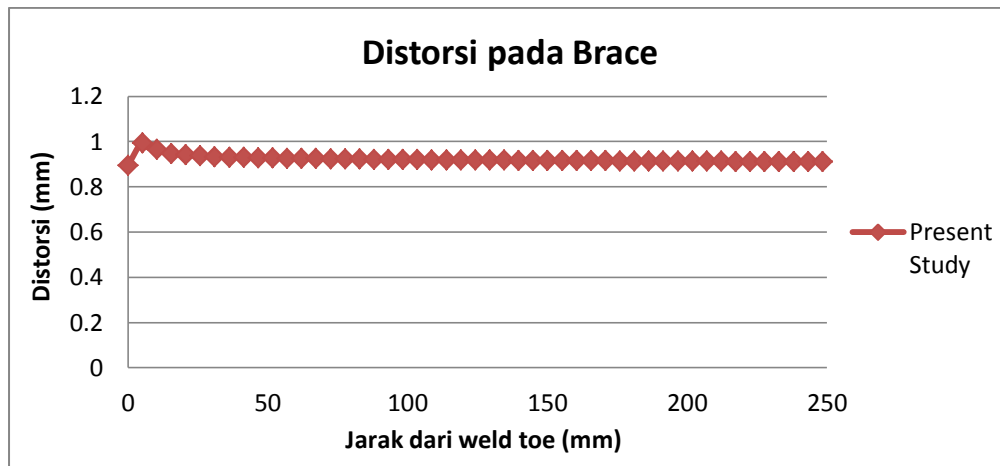
Gambar 4.33. Tegangan sisa aksial pada *brace* hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan loncat

Dari Gambar 4.32 dan 4.33 diatas dapat dilihat bahwa tegangan sisa aksial pada *chord* dan *brace* bernilai positif, dimana tegangan tersebut berupa tegangan tarik (*tensile stress*) pada daerah yang dekat dengan area pengelasan. Dengan nilai tegangan tarik yang semakin kecil seiring dengan jauhnya jarak dari area pengelasan.

Pada bagian *chord* di jarak ± 76 mm dari jarak area pengelasan, tegangan aksial berubah menjadi tegangan tekan (*compression stress*) lalu mendekati angka nol. Sedangkan pada bagian *brace* besar nilai tegangan semakin jauh dari area pengelasan maka semakin mendekati nol, menunjukkan bahwa semakin jauh jarak dari area pengelasan maka semakin tidak terjadi tegangan aksial di daerah tersebut.



Gambar 4.34. Distorsi pada *chord* hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan loncat

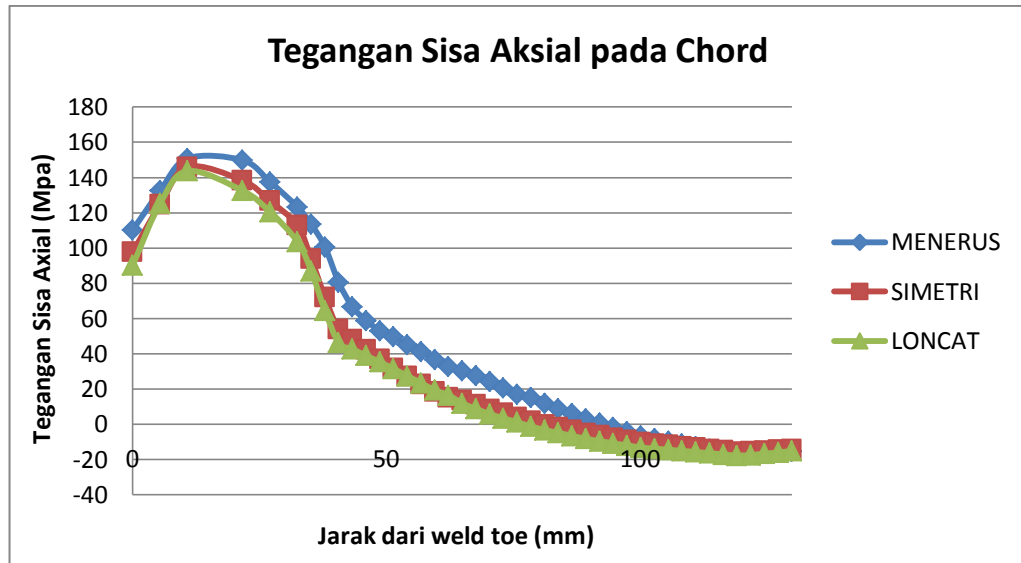


Gambar 4.35. Distorsi pada *brace* hasil analisis struktur urutan variasi pengelasan loncat

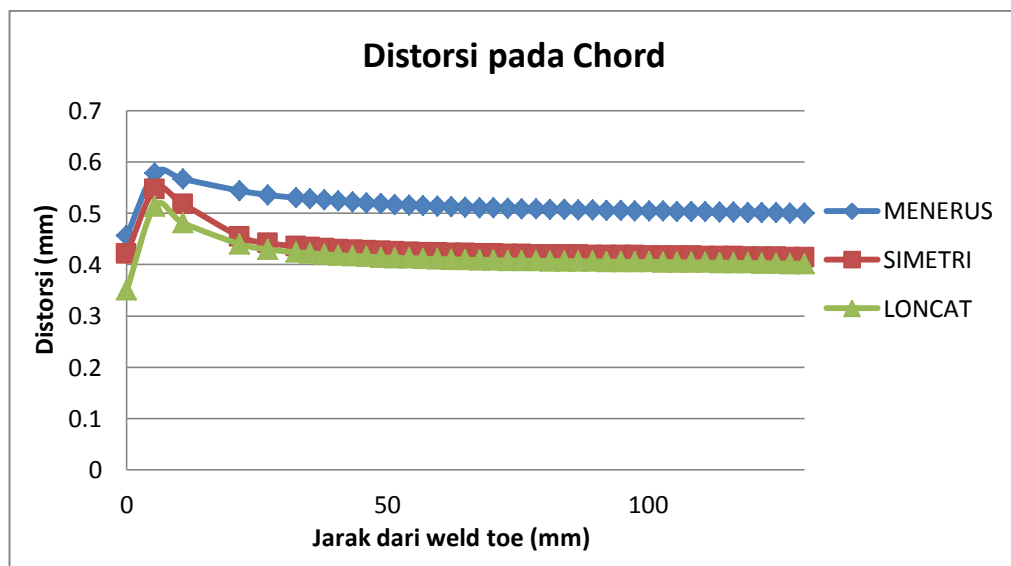
Seperti pada grafik distorsi pada urutan pengelasan sebelumnya, distorsi yang terjadi pada urutan pengelasan loncat daerah *chord* dan *brace* memiliki nilai maksimum pada jarak di dekat area pengelasan dan semakin rendah nilai distorsinya di jarak yang semakin menjauhi area pengelasan pula seperti tampak pada Gambar 4.34 dan 4.35.

4.9 Perbandingan Hasil Analisis dan Penentuan Urutan Pengelasan Terbaik

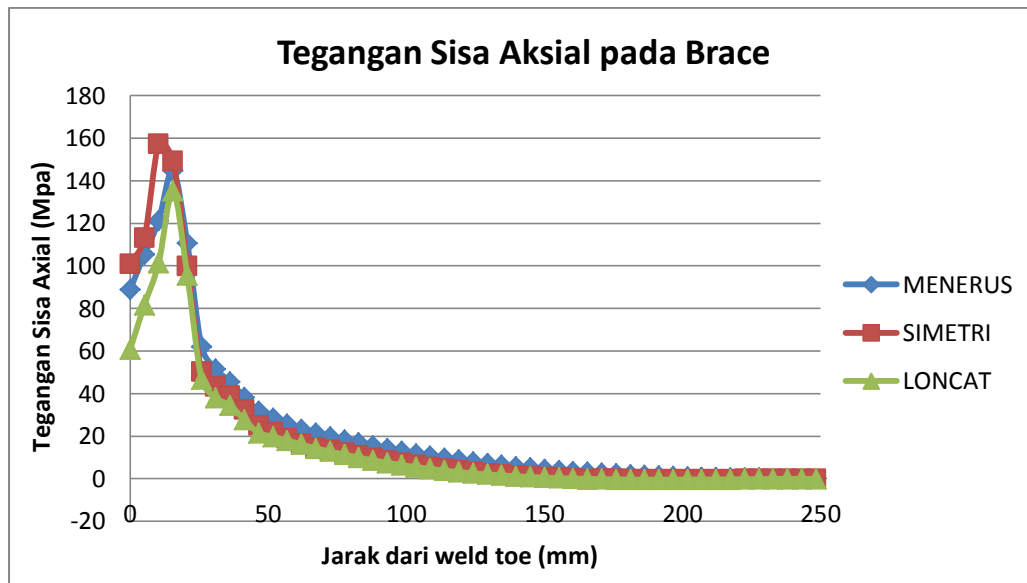
Setelah melakukan analisis berdasarkan pada masing-masing urutan pengelasan sebelumnya, dapat diketahui besarnya tegangan sisa aksial dan distorsi yang terjadi pada masing-masing bagian *chord* dan *brace* di setiap variasi urutan pengelasan. Berikut merupakan hasil rekapitulasi tegangan sisa aksial dan distorsi yang diperoleh dari hasil running ansys beserta penentuan urutan pengelasan yang terbaik terlihat dari besar nilai tegangan sisa aksial dan distorsinya pada Gambar 4.36, 4.37, 4.38, 4.39:



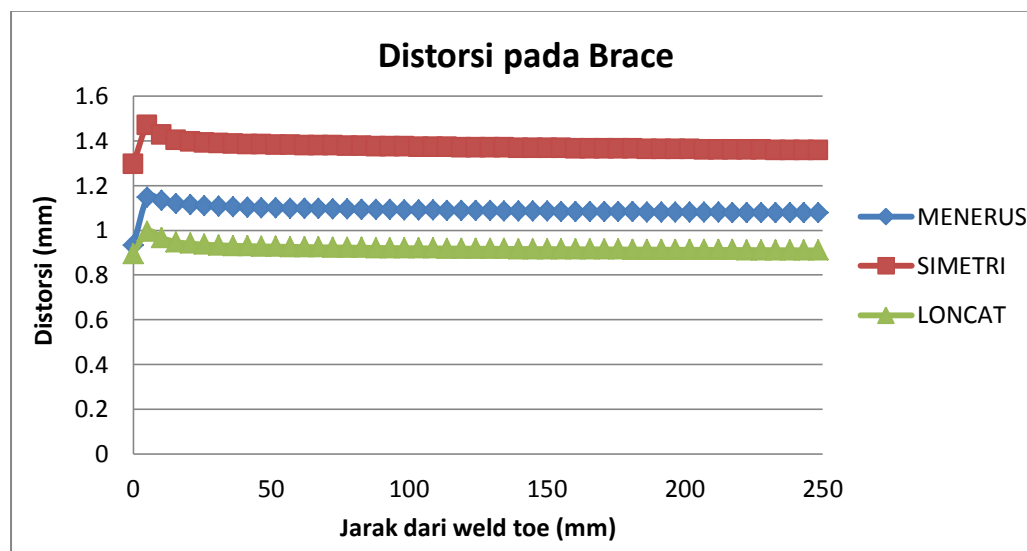
Gambar 4.36. Rekapitulasi grafik tegangan sisa aksial pada *chord*



Gambar 4.37. Rekapitulasi grafik distorsi pada *chord*



Gambar 4.38. Rekapitulasi grafik tegangan sisa aksial pada *brace*



Gambar 4.39. Rekapitulasi grafik distorsi pada *brace*

Dari rekapitulasi grafik sesuai variasi urutan pengelasan di atas, didapatkan tabel perbandingan hasil analisis seperti pada Tabel 4.4. di bawah ini:

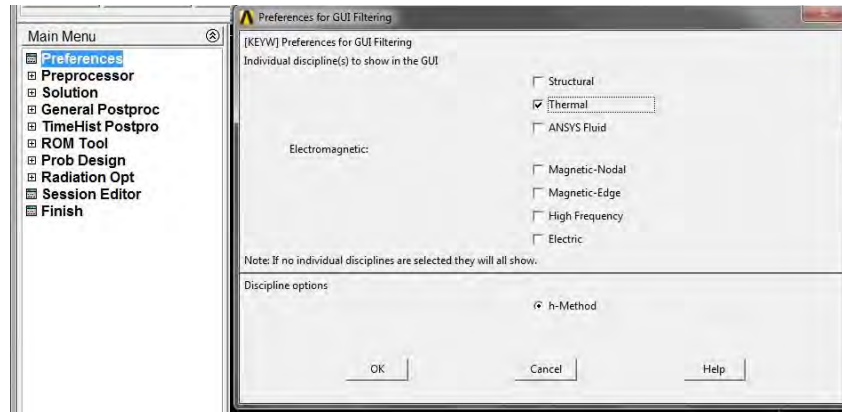
Tabel 4.4. Perbandingan hasil analisis sesuai variasi urutan pengelasan

No.	Hasil Analisis	Menerus	Simetri	Loncat
1.	Tegangan Sisa Aksial Maksimal pada <i>chord</i>	150.85 MPa	146.03 MPa	143.71 MPa
2.	Distorsi Maksimal pada <i>chord</i>	0.58 mm	0.55 mm	0.51 mm
3.	Tegangan Sisa Aksial Maksimal pada <i>brace</i>	144.83 MPa	157.28 MPa	135.13 MPa
4.	Distorsi Maksimal pada <i>brace</i>	1.15 mm	1.47 mm	0.99 mm

LAMPIRAN A
ANALISIS TERMAL PADA ANSYS
MECHANICAL APDL

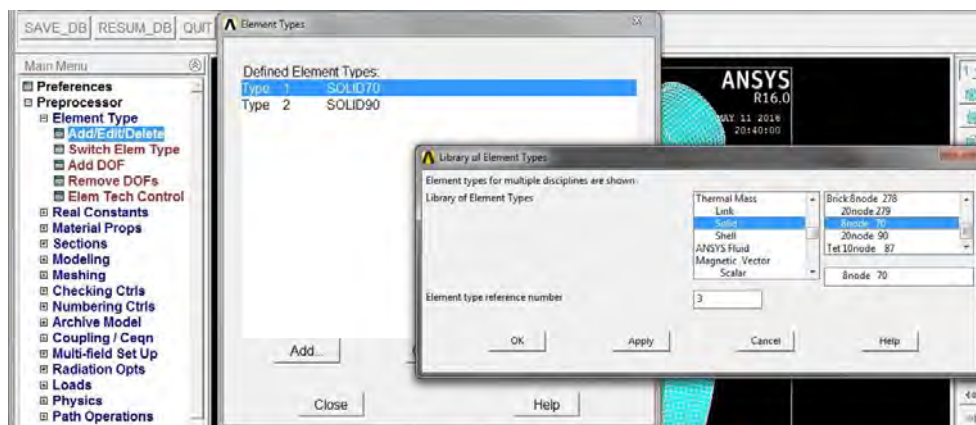
A1. Memilih *preference*

Preference > pilih Thermal



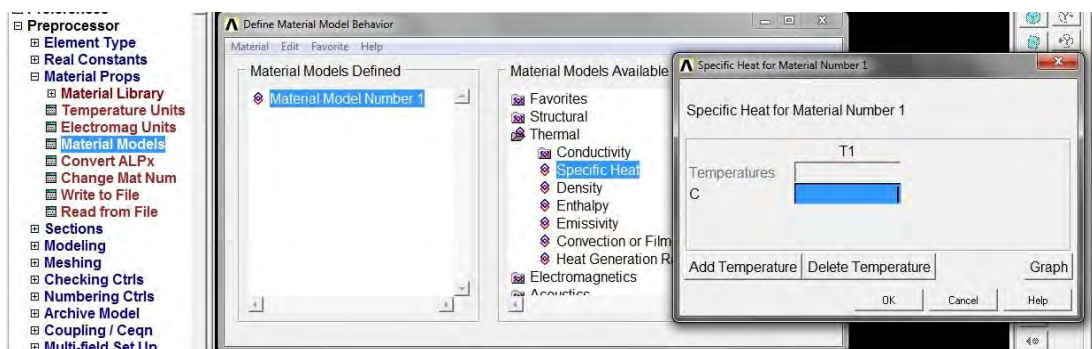
A2. Pemilihan tipe elemen

Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Add > Thermal Mass:
Solid > Brick 8 node 70 dan Brick 20 node 90



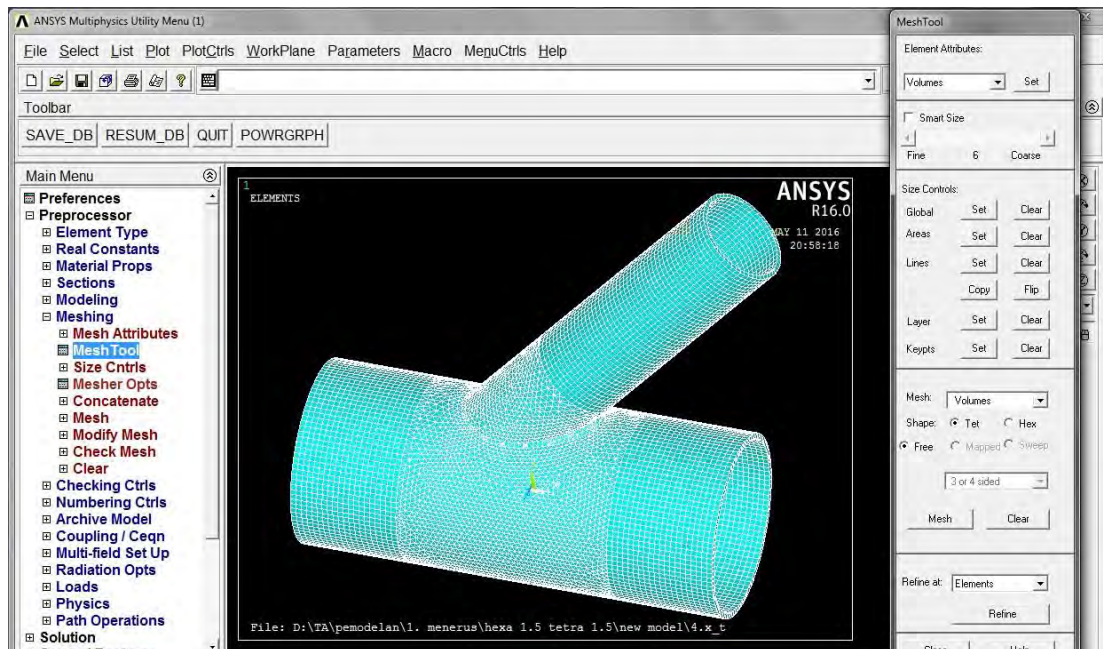
A3. Input data material properti

Preprocessor > Material Props > Material Models > Thermal, dll



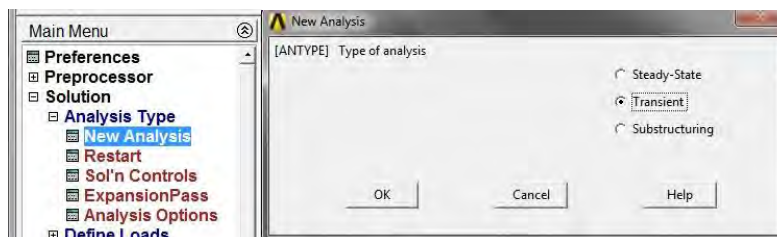
A4. Meshing model

Preprocessor > *Meshing* > Mesh Tool



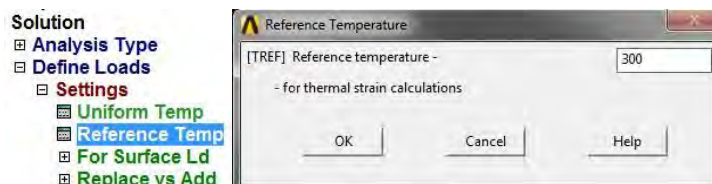
A5. Memilih tipe analisis

Solution > Analysis Type > New Analysis > pilih Transient



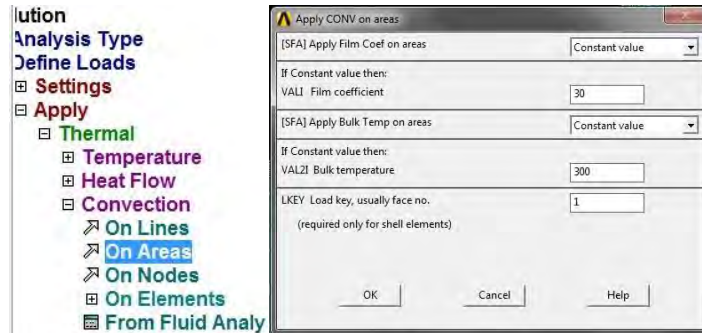
A6. Penentuan referensi temperature

Solution > Define Loads > Settings > Reference Temp



A7. Penentuan kondisi batas

Solution > Define Loads > Apply > Thermal > Convection



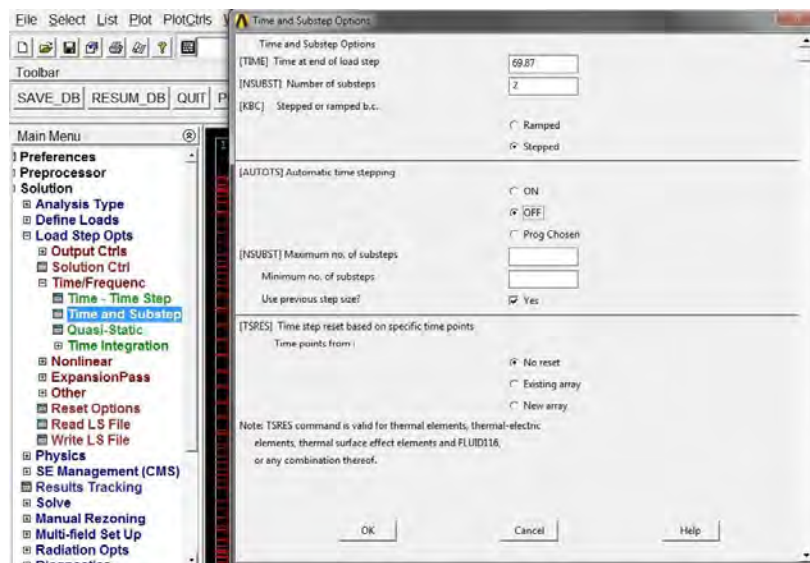
A8. Proses pembebanan *heatflux*

Solution > Define Loads > Apply > Thermal > Heat Flux



A9. Penentuan *time step*

Solution > Load Step Opts > Time/Frequenc > Time and Substep



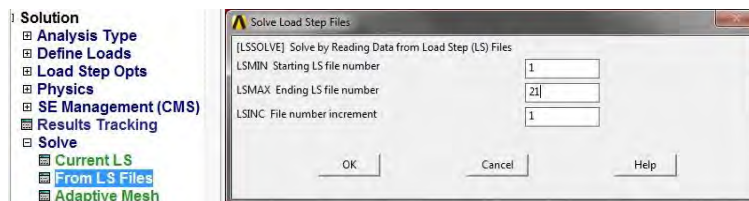
A10. Penulisan *loadstep*

Solution > Load Step Opts > Write LS File



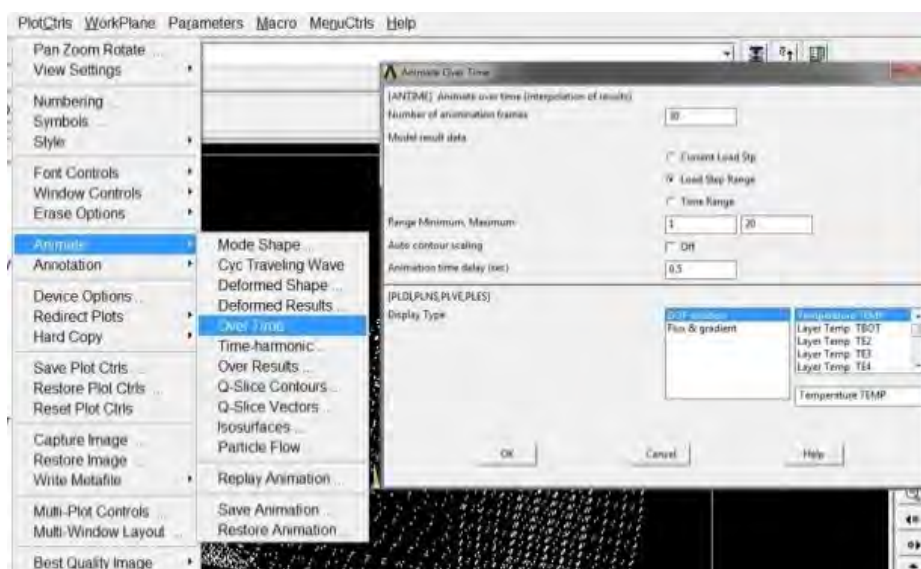
A11. Solve *loadstep*

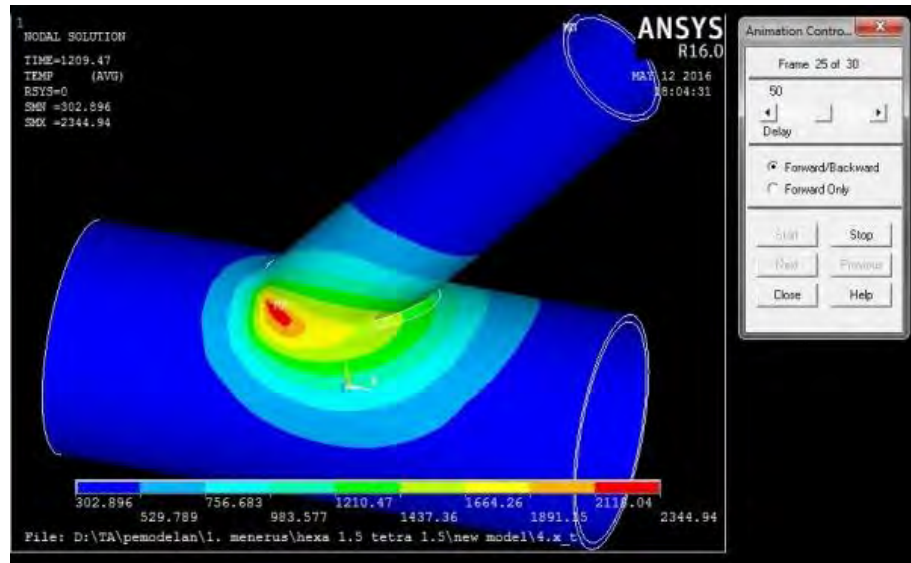
Solution > Solve > From LS Files



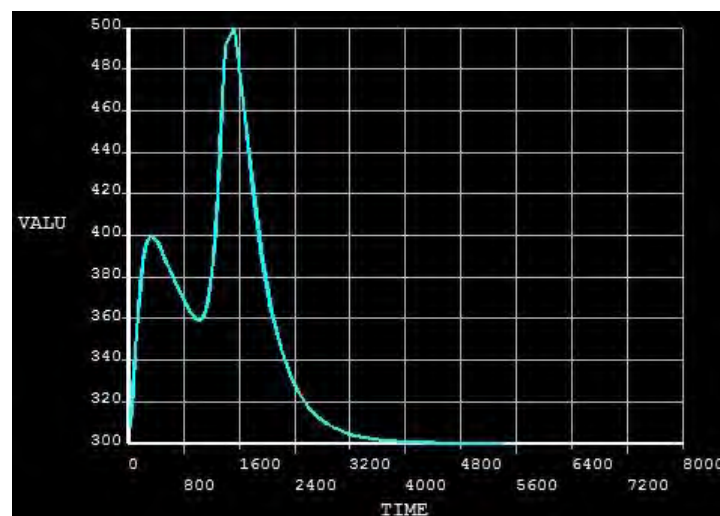
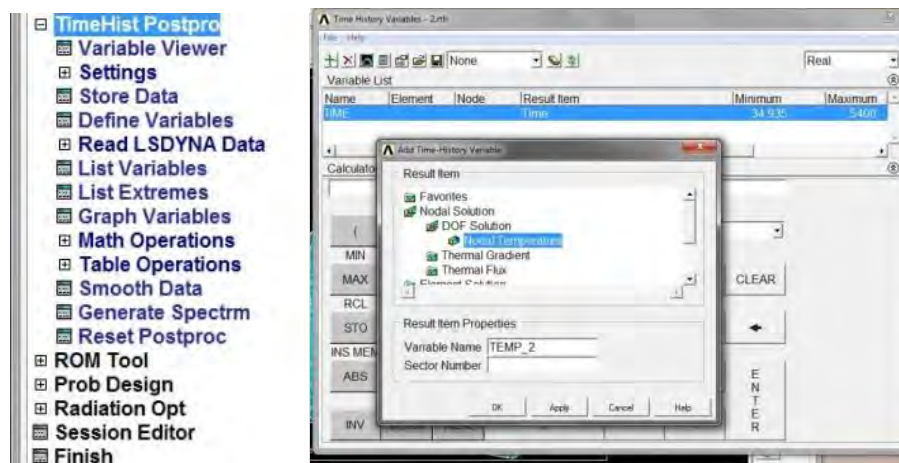
A12. Distribusi panas

Animasi : PlotCtrls > Animate > Over Time





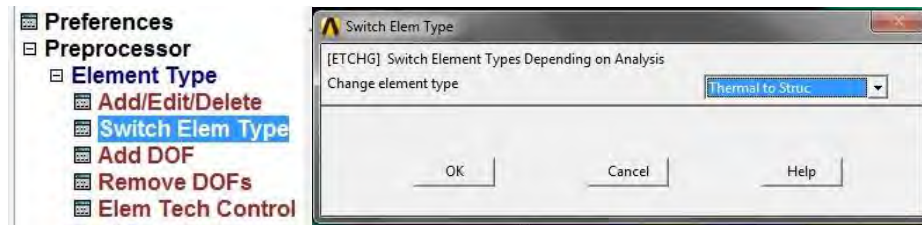
Grafik : TimeHist Postproc > DOF Solution > Nodal Temperature



LAMPIRAN B
ANALISIS STRUKTURAL PADA ANSYS
MECHANICAL APDL

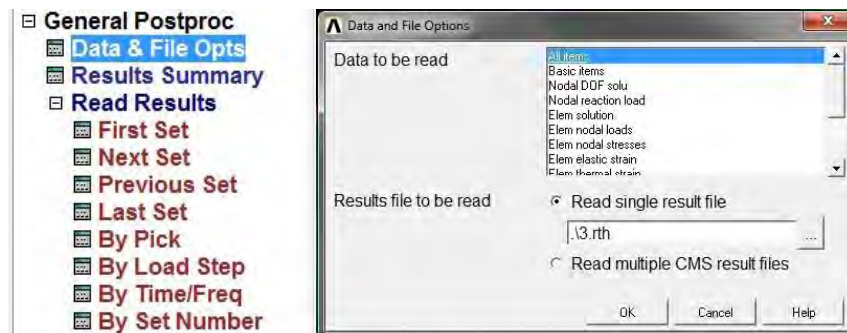
B1. Ubah tipe elemen menjadi struktur

Preprocessor > Element Type > Switch Elem Type



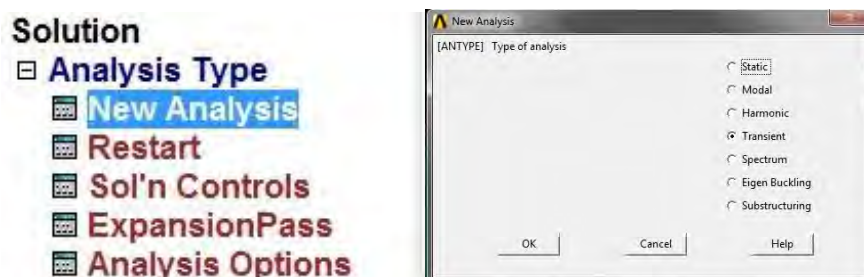
B2. Pembacaan data *result thermal*

General Postproc > Data & File Opts > *browse data .rth*



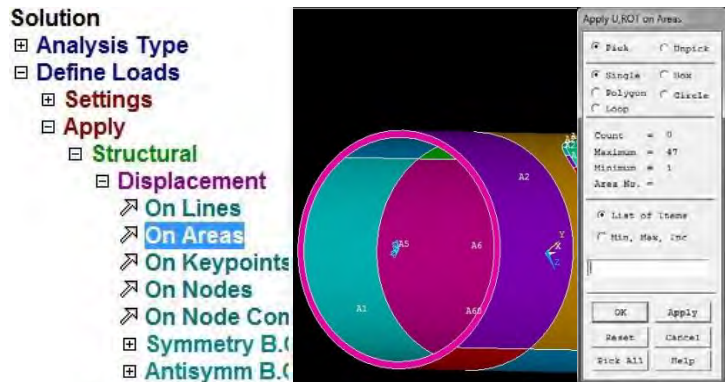
B3. Memilih tipe analisis

Solution > Analysis Type > New Analysis > pilih Transient



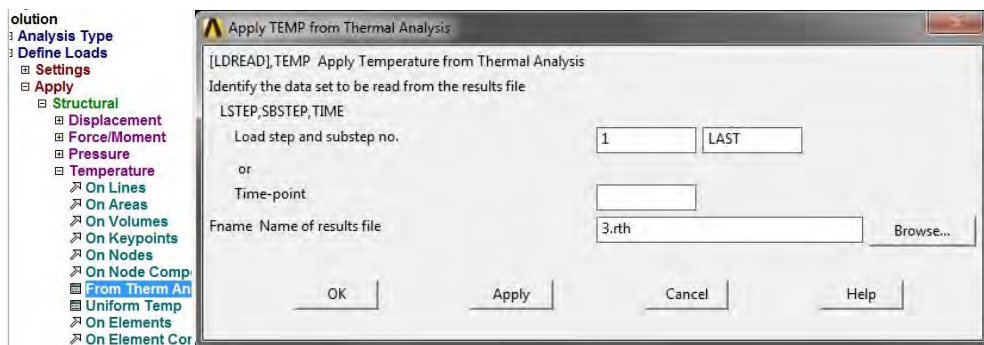
B4. Penentuan kondisi batas

Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement



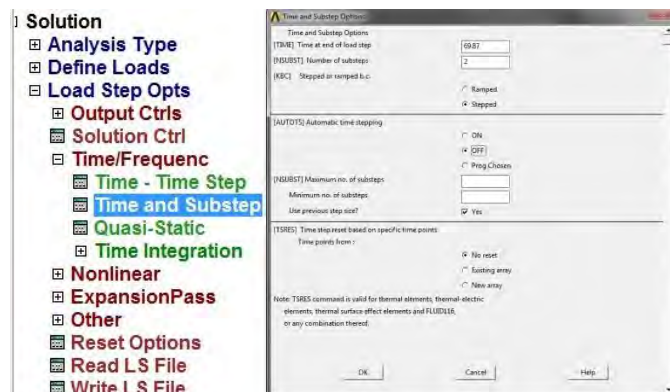
B5. Pembacaan Loadstep Hasil Pembebanan Thermal

Solution > Define Loads > Apply > Structural > Temperature > From Term Analy



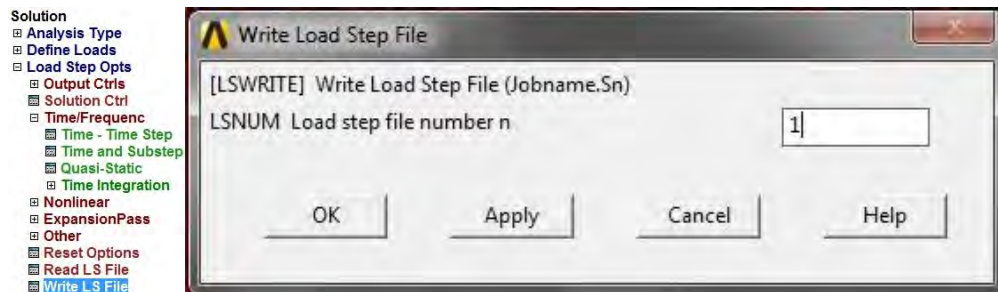
B6. Penentuan time step

Solution > Load Step Opts > Time/Frequec > Time and Substep



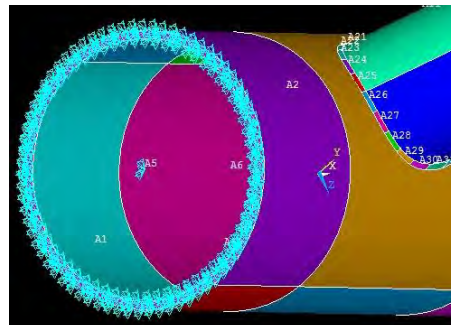
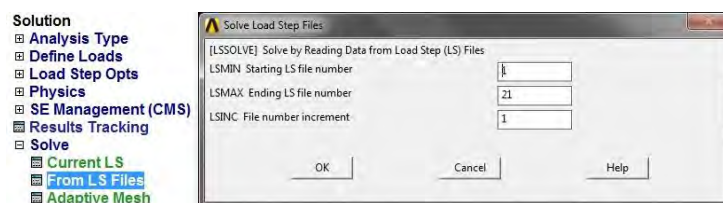
B7. Penulisan *loadstep*

Solution > Load Step Opts > Write LS File



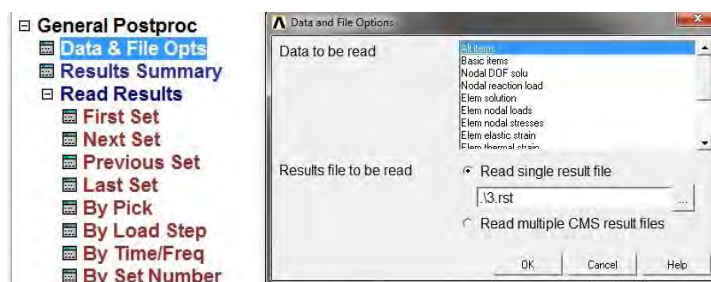
B8. Solve loadstep

Solution > Solve > From LS Files

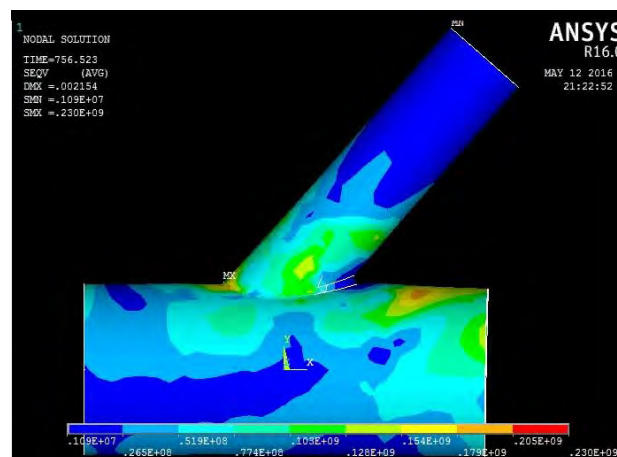
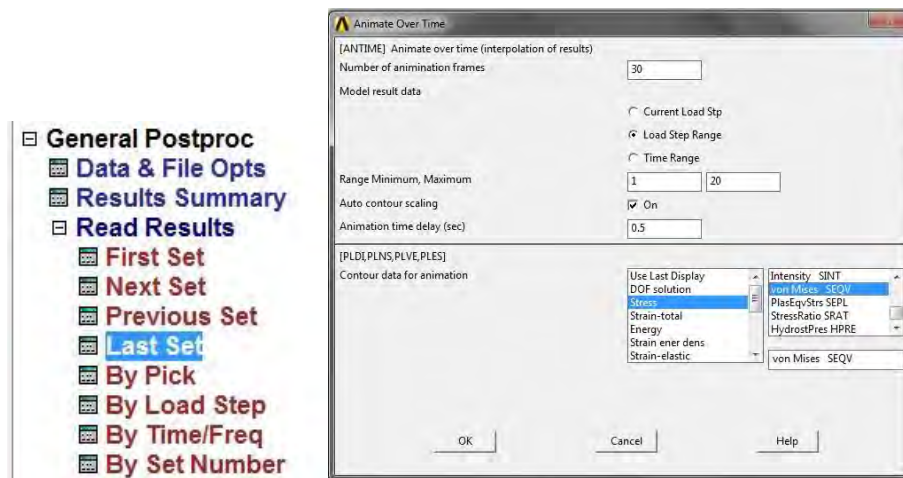


B9. Tegangan Sisa

General Postproc > Data & File Opts > *browse* file .rst



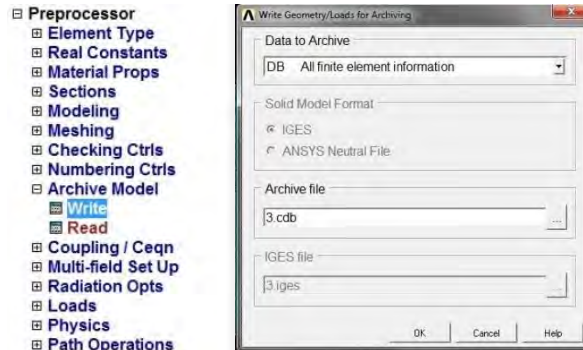
PlotCtrls > Animate > Over Time > Stress Von Mises




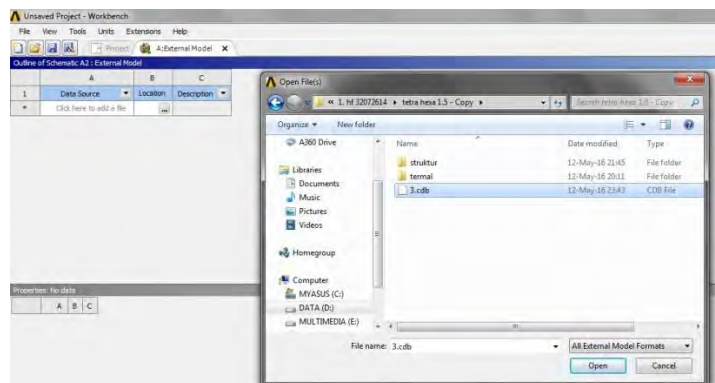
LAMPIRAN C
PEMBACAAN TEGANGAN SISA DAN
DISTORSI ANSYS WORKBENCH

C1. Input model analisis struktur

Preprocessor > Archive Model > Write > Pilih “DB”

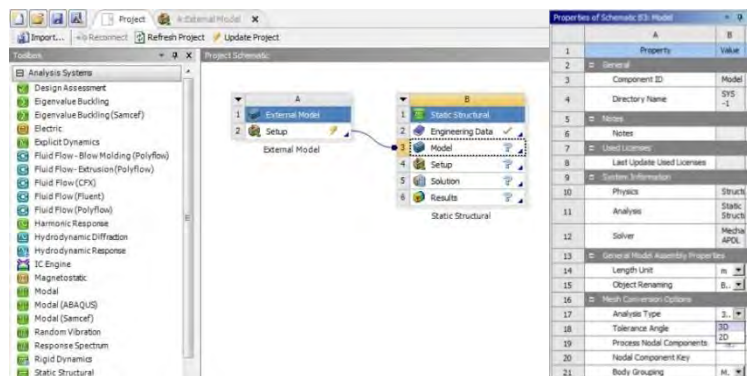


Pilih tab External Model > klik tombol  > pilih file format cdb yang sudah disimpan sebelumnya



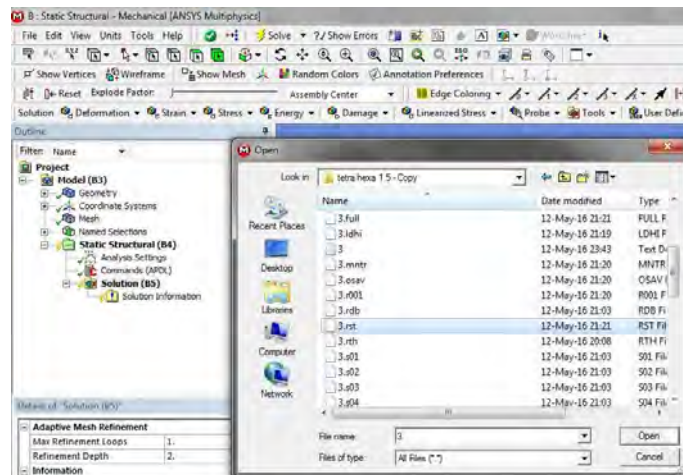
C2. Merubah tipe analisis

Klik kanan Modal pada Static Structure > pilih 3D pada properti di samping



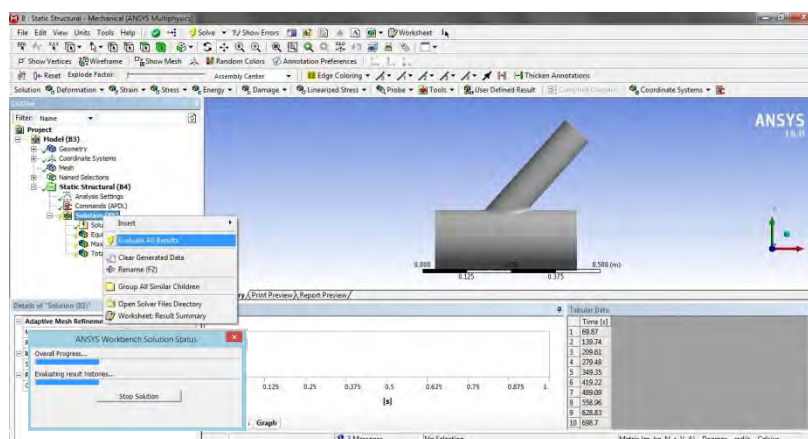
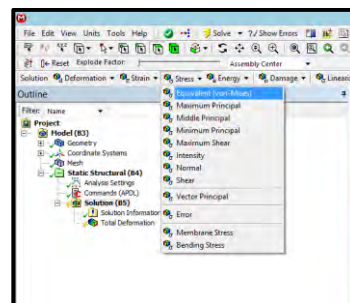
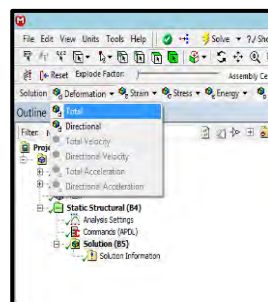
C3. Pembacaan hasil analisis struktur

Klik Solution > Pilih Tools > Read Result Files > pilih file rst



C4. Solve hasil analisis struktur

Pilih hasil yang diinginkan seperti Deformation Total pada kolom atas macam-macam Solution > Klik kanan Solution pada kolom Outline > Evaluate All Results



LAMPIRAN D-1
INPUT DATA TERMAL PADA SOFTWARE
ANSYS MECHANICAL APDL

!!!Loadstep 1

FLST,2,47,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,10

FITEM,2,-30

FITEM,2,33

FITEM,2,-34

FITEM,2,36

FITEM,2,-38

FITEM,2,43

FITEM,2,49

FITEM,2,51

FITEM,2,-62

/GO

!*

SFA,P51X,1,CONV,30,300

FLST,2,1,5,ORDE,1

FITEM,2,25

/GO

!*

SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

!*

TIME,12

AUTOTS,0

NSUBST,2, , 1

KBC,1

!*

TSRES,ERASE

LSWRITE,1,

LSCLEAR,ALL

!!!Loadstep 2

FLST,2,47,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,10

FITEM,2,-30

FITEM,2,33

FITEM,2,-34

FITEM,2,36

FITEM,2,-38

FITEM,2,43

FITEM,2,49

FITEM,2,51

FITEM,2,-62

/GO

!*

SFA,P51X,1,CONV,30,300

FLST,2,1,5,ORDE,1

FITEM,2,24

/GO

!*

SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

TIME,24

AUTOTS,0

NSUBST,2, , 1

KBC,1

!*

TSRES,ERASE

LSWRITE,2,

LSCLEAR,ALL

!!!Loadstep 3

FLST,2,47,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,10

FITEM,2,-30

FITEM,2,33

FITEM,2,-34

FITEM,2,36

FITEM,2,-38

FITEM,2,43

FITEM,2,49

FITEM,2,51

FITEM,2,-62

/GO

!*

SFA,P51X,1,CONV,30,300

FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,23
/GO
!*
SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

TIME,36
AUTOTS,0
NSUBST,2, , ,1
KBC,1
!*

TSRES,ERASE
LSWRITE,3,
LSCLEAR,ALL

!!!Loadstep 4

FLST,2,47,5,ORDE,12
FITEM,2,1
FITEM,2,-7
FITEM,2,10
FITEM,2,-30
FITEM,2,33
FITEM,2,-34
FITEM,2,36
FITEM,2,-38
FITEM,2,43
FITEM,2,49
FITEM,2,51
FITEM,2,-62

/GO
!*
SFA,P51X,1,CONV,30,300

FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,22
/GO
!*
SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

TIME,48
AUTOTS,0
NSUBST,2, , ,1
KBC,1

!*

TSRES,ERASE
LSWRITE,4,
LSCLEAR,ALL

!!!Loadstep 5

FLST,2,47,5,ORDE,12
FITEM,2,1
FITEM,2,-7
FITEM,2,10
FITEM,2,-30
FITEM,2,33
FITEM,2,-34
FITEM,2,36
FITEM,2,-38
FITEM,2,43
FITEM,2,49
FITEM,2,51
FITEM,2,-62

/GO
!*
SFA,P51X,1,CONV,30,300

FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,21
/GO
!*
SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

TIME,60
AUTOTS,0
NSUBST,2, , ,1
KBC,1
!*

TSRES,ERASE
LSWRITE,5,
LSCLEAR,ALL

!!!Loadstep 6

FLST,2,47,5,ORDE,12
FITEM,2,1

FITEM,2,-7
 FITEM,2,10
 FITEM,2,-30
 FITEM,2,33
 FITEM,2,-34
 FITEM,2,36
 FITEM,2,-38
 FITEM,2,43
 FITEM,2,49
 FITEM,2,51
 FITEM,2,-62
 /GO
 !*
 SFA,P51X,1,CONV,30,300

 FLST,2,1,5,ORDE,1
 FITEM,2,20
 /GO
 !*
 SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

 TIME,72
 AUTOTS,0
 NSUBST,2, , ,1
 KBC,1
 !*

 TSRES,ERASE
 LSWRITE,6,
 LSCLEAR,ALL

 !!!Loadstep 7

 FLST,2,47,5,ORDE,12
 FITEM,2,1
 FITEM,2,-7
 FITEM,2,10
 FITEM,2,-30
 FITEM,2,33
 FITEM,2,-34
 FITEM,2,36
 FITEM,2,-38
 FITEM,2,43
 FITEM,2,49
 FITEM,2,51
 FITEM,2,51

FITEM,2,-62
 /GO
 !*
 SFA,P51X,1,CONV,30,300

 FLST,2,1,5,ORDE,1
 FITEM,2,19
 /GO
 !*
 SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

 TIME,84
 AUTOTS,0
 NSUBST,2, , ,1
 KBC,1
 !*

 TSRES,ERASE
 LSWRITE,7,
 LSCLEAR,ALL

 !!!Loadstep 8

 FLST,2,47,5,ORDE,12
 FITEM,2,1
 FITEM,2,-7
 FITEM,2,10
 FITEM,2,-30
 FITEM,2,33
 FITEM,2,-34
 FITEM,2,36
 FITEM,2,-38
 FITEM,2,43
 FITEM,2,49
 FITEM,2,51
 FITEM,2,-62
 /GO
 !*
 SFA,P51X,1,CONV,30,300

 FLST,2,1,5,ORDE,1
 FITEM,2,18
 /GO
 !*
 SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

TIME,96
AUTOTS,0
NSUBST,2, , ,1
KBC,1
!*

TSRES,ERASE
LSWRITE,8,
LSCLEAR,ALL

!!!Loadstep 9

FLST,2,47,5,ORDE,12
FITEM,2,1
FITEM,2,-7
FITEM,2,10
FITEM,2,-30
FITEM,2,33
FITEM,2,-34
FITEM,2,36
FITEM,2,-38
FITEM,2,43
FITEM,2,49
FITEM,2,51
FITEM,2,-62

/GO

!*

SFA,P51X,1,CONV,30,300

FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,17

/GO

!*

SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

TIME,108
AUTOTS,0
NSUBST,2, , ,1
KBC,1
!*

TSRES,ERASE
LSWRITE,9,
LSCLEAR,ALL

!!!Loadstep 10

FLST,2,47,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,10

FITEM,2,-30

FITEM,2,33

FITEM,2,-34

FITEM,2,36

FITEM,2,-38

FITEM,2,43

FITEM,2,49

FITEM,2,51

FITEM,2,-62

/GO

!*

SFA,P51X,1,CONV,30,300

FLST,2,1,5,ORDE,1

FITEM,2,16

/GO

!*

SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

TIME,120

AUTOTS,0

NSUBST,2, , ,1

KBC,1

!*

TSRES,ERASE

LSWRITE,10,

LSCLEAR,ALL

!!!Loadstep 11

FLST,2,47,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,10

FITEM,2,-30

FITEM,2,33

FITEM,2,-34

FITEM,2,36
FITEM,2,-38
FITEM,2,43
FITEM,2,49
FITEM,2,51
FITEM,2,-62
/GO
!*
SFA,P51X,1,CONV,30,300

FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,15
/GO
!*
SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

TIME,132
AUTOTS,0
NSUBST,2, , ,1
KBC,1
!*

TSRES,ERASE
LSWRITE,11,
LSCLEAR,ALL

!!!Loadstep 12

FLST,2,47,5,ORDE,12
FITEM,2,1
FITEM,2,-7
FITEM,2,10
FITEM,2,-30
FITEM,2,33
FITEM,2,-34
FITEM,2,36
FITEM,2,-38
FITEM,2,43
FITEM,2,49
FITEM,2,51
FITEM,2,-62
/GO
!*
SFA,P51X,1,CONV,30,300

FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,14
/GO
!*
SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

TIME,144
AUTOTS,0
NSUBST,2, , ,1
KBC,1
!*

TSRES,ERASE
LSWRITE,12,
LSCLEAR,ALL

!!!Loadstep 13

FLST,2,47,5,ORDE,12
FITEM,2,1
FITEM,2,-7
FITEM,2,10
FITEM,2,-30
FITEM,2,33
FITEM,2,-34
FITEM,2,36
FITEM,2,-38
FITEM,2,43
FITEM,2,49
FITEM,2,51
FITEM,2,-62
/GO
!*
SFA,P51X,1,CONV,30,300

FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,13
/GO
!*
SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

TIME,156
AUTOTS,0
NSUBST,2, , ,1
KBC,1

!*

TSRES,ERASE
LSWRITE,13,
LSCLEAR,ALL

!!!Loadstep 14

FLST,2,47,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,10

FITEM,2,-30

FITEM,2,33

FITEM,2,-34

FITEM,2,36

FITEM,2,-38

FITEM,2,43

FITEM,2,49

FITEM,2,51

FITEM,2,-62

/GO

!*

SFA,P51X,1,CONV,30,300

FLST,2,1,5,ORDE,1

FITEM,2,12

/GO

!*

SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

TIME,168

AUTOTS,0

NSUBST,2, , ,1

KBC,1

!*

TSRES,ERASE

LSWRITE,14,

LSCLEAR,ALL

!!!Loadstep 15

FLST,2,47,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,10

FITEM,2,-30

FITEM,2,33

FITEM,2,-34

FITEM,2,36

FITEM,2,-38

FITEM,2,43

FITEM,2,49

FITEM,2,51

FITEM,2,-62

/GO

!*

SFA,P51X,1,CONV,30,300

FLST,2,1,5,ORDE,1

FITEM,2,33

/GO

!*

SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

TIME,180

AUTOTS,0

NSUBST,2, , ,1

KBC,1

!*

TSRES,ERASE

LSWRITE,15,

LSCLEAR,ALL

!!!Loadstep 16

FLST,2,47,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,10

FITEM,2,-30

FITEM,2,33

FITEM,2,-34

FITEM,2,36

FITEM,2,-38

FITEM,2,43

FITEM,2,49

FITEM,2,51

FITEM,2,-62
/GO
!*
SFA,P51X,1,CONV,30,300

FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,30
/GO
!*
SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

TIME,192
AUTOTS,0
NSUBST,2, , ,1
KBC,1
!*

TSRES,ERASE
LSWRITE,16,
LSCLEAR,ALL

!!!Loadstep 17

FLST,2,47,5,ORDE,12
FITEM,2,1
FITEM,2,-7
FITEM,2,10
FITEM,2,-30
FITEM,2,33
FITEM,2,-34
FITEM,2,36
FITEM,2,-38
FITEM,2,43
FITEM,2,49
FITEM,2,51
FITEM,2,-62
/GO
!*
SFA,P51X,1,CONV,30,300

FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,29
/GO
!*
SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

TIME,204
AUTOTS,0
NSUBST,2, , ,1
KBC,1
!*

TSRES,ERASE
LSWRITE,17,
LSCLEAR,ALL

!!!Loadstep 18

FLST,2,47,5,ORDE,12
FITEM,2,1
FITEM,2,-7
FITEM,2,10
FITEM,2,-30
FITEM,2,33
FITEM,2,-34
FITEM,2,36
FITEM,2,-38
FITEM,2,43
FITEM,2,49
FITEM,2,51
FITEM,2,-62
/GO
!*
SFA,P51X,1,CONV,30,300

FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,28
/GO
!*
SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

TIME,216
AUTOTS,0
NSUBST,2, , ,1
KBC,1
!*

TSRES,ERASE
LSWRITE,18,
LSCLEAR,ALL

!!!Loadstep 19

FLST,2,47,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,10

FITEM,2,-30

FITEM,2,33

FITEM,2,-34

FITEM,2,36

FITEM,2,-38

FITEM,2,43

FITEM,2,49

FITEM,2,51

FITEM,2,-62

/GO

!*

SFA,P51X,1,CONV,30,300

FLST,2,1,5,ORDE,1

FITEM,2,27

/GO

!*

SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

TIME,228

AUTOTS,0

NSUBST,2, , ,1

KBC,1

!*

TSRES,ERASE

LSWRITE,19,

LSCLEAR,ALL

!!!Loadstep 20

FLST,2,47,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,10

FITEM,2,-30

FITEM,2,33

FITEM,2,-34

FITEM,2,36

FITEM,2,-38

FITEM,2,43

FITEM,2,49

FITEM,2,51

FITEM,2,-62

/GO

!*

SFA,P51X,1,CONV,30,300

FLST,2,1,5,ORDE,1

FITEM,2,26

/GO

!*

SFA,P51X,1,HFLUX,14111950

TIME,240

AUTOTS,0

NSUBST,2, , ,1

KBC,1

!*

TSRES,ERASE

LSWRITE,20,

LSCLEAR,ALL

!!!Loadstep 21

FLST,2,47,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,10

FITEM,2,-30

FITEM,2,33

FITEM,2,-34

FITEM,2,36

FITEM,2,-38

FITEM,2,43

FITEM,2,49

FITEM,2,51

FITEM,2,-62

/GO

!*

SFA,P51X,1,CONV,30,300

TIME,5400
AUTOTS,0
NSUBST,30,,1
KBC,1
!*

TSRES,ERASE
LSWRITE,21,

LAMPIRAN D-2
INPUT DATA STRUKTURAL PADA
SOFTWARE ANSYS MECHANICAL APDL

!!!Loadstep 1

LDREAD,TEMP,1,LAST, , , '6','rth','

'

!*
.

OUTPR,ALL,LAST,

/GST,1

!*
.

NEQIT,1000

TIME,12

AUTOTS,0

NSUBST,2,0,0,0

KBC,1

!*
.

TSRES,ERASE

LSWRITE,1,

!!!Loadstep 2

LDREAD,TEMP,2,LAST, , , '6','rth','

'

!*
.

OUTPR,ALL,LAST,

/GST,1

!*
.

NEQIT,1000

TIME,24

AUTOTS,0

NSUBST,2,0,0,0

KBC,1

!*
.

TSRES,ERASE

LSWRITE,2,

!!!Loadstep 3

LDREAD,TEMP,3,LAST, , , '6','rth','

'

!*
.

OUTPR,ALL,LAST,

/GST,1

!*
.

NEQIT,1000

TIME,36

AUTOTS,0

NSUBST,2,0,0,0

KBC,1

!*
.

TSRES,ERASE

LSWRITE,3,

!!!Loadstep 4

LDREAD,TEMP,4,LAST, , , '6','rth','

'

!*
.

OUTPR,ALL,LAST,

/GST,1

!*
.

NEQIT,1000

TIME,48

AUTOTS,0

NSUBST,2,0,0,0

KBC,1

!*

TSRES,ERASE

LSWRITE,4,

!!!Loadstep 5

LDREAD,TEMP,5,LAST, , , '6', 'rth',

,

!*

OUTPR,ALL,LAST,

/GST,1

!*

NEQIT,1000

TIME,60

AUTOTS,0

NSUBST,2,0,0,0

KBC,1

!*

TSRES,ERASE

LSWRITE,5,

!!!Loadstep 6

LDREAD,TEMP,6,LAST, , , '6', 'rth',

,

!*

OUTPR,ALL,LAST,

/GST,1

!*

NEQIT,1000

TIME,72

AUTOTS,0

NSUBST,2,0,0,0

KBC,1

!*

TSRES,ERASE

LSWRITE,6,

!!!Loadstep 7

LDREAD,TEMP,7,LAST, , , '6', 'rth',

,

!*

OUTPR,ALL,LAST,

/GST,1

!*

NEQIT,1000

TIME,84

AUTOTS,0

NSUBST,2,0,0,0

KBC,1

!*

TSRES,ERASE

LSWRITE,7,

!!!Loadstep 8

LDREAD,TEMP,8,LAST, , , '6', 'rth',

,

!*

OUTPR,ALL,LAST,

/GST,1
!*
NEQIT,1000

TIME,96
AUTOTS,0
NSUBST,2,0,0,0
KBC,1
!*
TSRES,ERASE
LSWRITE,8,

!!!Loadstep 9

LDREAD,TEMP,9,LAST, , , '6','rth','
,
!*
OUTPR,ALL,LAST,
/GST,1
!*
NEQIT,1000

TIME,108
AUTOTS,0
NSUBST,2,0,0,0
KBC,1
!*
TSRES,ERASE
LSWRITE,9,

!!!Loadstep 10

LDREAD,TEMP,10,LAST, ,
, '6','rth',''
!*
OUTPR,ALL,LAST,
/GST,1
!*
NEQIT,1000

TIME,120
AUTOTS,0
NSUBST,2,0,0,0
KBC,1
!*
TSRES,ERASE
LSWRITE,10,

!!!Loadstep 11

LDREAD,TEMP,11,LAST, ,
, '6','rth',''
!*
OUTPR,ALL,LAST,
/GST,1
!*
NEQIT,1000

TIME,132
AUTOTS,0
NSUBST,2,0,0,0
KBC,1
!*
TSRES,ERASE
LSWRITE,11,

!!!Loadstep 12

LDREAD,TEMP,12,LAST, ,
, '6','rth',''

!*

OUTPR,ALL,LAST,
/GST,1

!*

NEQIT,1000

TIME,144

AUTOTS,0

NSUBST,2,0,0,0

KBC,1

!*

TSRES,ERASE

LSWRITE,12,

!!!Loadstep 13

LDREAD,TEMP,13,LAST, ,
, '6','rth',''

!*

OUTPR,ALL,LAST,
/GST,1

!*

NEQIT,1000

TIME,156

AUTOTS,0

NSUBST,2,0,0,0

KBC,1

!*

TSRES,ERASE

LSWRITE,13,

!!!Loadstep 14

LDREAD,TEMP,14,LAST, ,
, '6','rth',''

!*

OUTPR,ALL,LAST,
/GST,1

!*

NEQIT,1000

TIME,168

AUTOTS,0

NSUBST,2,0,0,0

KBC,1

!*

TSRES,ERASE

LSWRITE,14,

!!!Loadstep 15

LDREAD,TEMP,15,LAST, ,
, '6','rth',''

!*

OUTPR,ALL,LAST,
/GST,1

!*

NEQIT,1000

TIME,180

AUTOTS,0
NSUBST,2,0,0,0

KBC,1

!*

TSRES,ERASE

LSWRITE,15,

!!!Loadstep 16

LDREAD,TEMP,16,LAST, ,

, '6', 'rth', ''

!*

OUTPR,ALL,LAST,

/GST,1

!*

NEQIT,1000

TIME,192

AUTOTS,0

NSUBST,2,0,0,0

KBC,1

!*

TSRES,ERASE

LSWRITE,16,

!!!Loadstep 17

LDREAD,TEMP,17,LAST, ,

, '6', 'rth', ''

!*

OUTPR,ALL,LAST,

/GST,1

!*

NEQIT,1000

TIME,204

AUTOTS,0

NSUBST,2,0,0,0

KBC,1

!*

TSRES,ERASE

LSWRITE,17,

!!!Loadstep 18

LDREAD,TEMP,18,LAST, ,

, '6', 'rth', ''

!*

OUTPR,ALL,LAST,

/GST,1

!*

NEQIT,1000

TIME,216

AUTOTS,0

NSUBST,2,0,0,0

KBC,1

!*

TSRES,ERASE

LSWRITE,18,

!!!Loadstep 19

LDREAD,TEMP,19,LAST, ,

, '6', 'rth', ''

!*

OUTPR,ALL,LAST,
/GST,1
!*
NEQIT,1000

TIME,228
AUTOTS,0
NSUBST,2,0,0,0
KBC,1
!*
TSRES,ERASE
LSWRITE,19,

!!!Loadstep 20

LDREAD,TEMP,20,LAST, ,
, '6', 'rth', ' '
!*
OUTPR,ALL,LAST,
/GST,1
!*
NEQIT,1000

TIME,240
AUTOTS,0
NSUBST,2,0,0,0
KBC,1
!*
TSRES,ERASE
LSWRITE,20,

!!!Loadstep 21

LDREAD,TEMP,21,LAST, ,
, '6', 'rth', ' '
!*
OUTPR,ALL,LAST,
/GST,1
!*
NEQIT,1000

TIME,5400
AUTOTS,0
NSUBST,30,0,0,0
KBC,1
!*
TSRES,ERASE
LSWRITE,21,

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan dari hasil analisis dan pembahasan sekaligus dapat menjawab beberapa rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Distribusi panas pada titik nodal pertama didapatkan suhu tertinggi yaitu sebesar 1818.2° Kelvin, sedangkan distribusi panas pada titik nodal kedua didapatkan suhu tertinggi yaitu sebesar 2150.58° Kelvin.
2.
 - Pada variasi pengelasan menerus, tegangan sisa aksial maksimal yang terjadi pada bagian *chord* adalah sebesar 150.85 MPa dan distorsi maksimalnya sebesar 0.58 mm. Sedangkan tegangan sisa aksial maksimal yang terjadi pada bagian *brace* adalah sebesar 157.28 MPa dan distorsi maksimalnya sebesar 1.47 mm.
 - Pada variasi pengelasan simetri, tegangan sisa aksial maksimal yang terjadi pada bagian *chord* adalah sebesar 146.03 MPa dan distorsi maksimalnya sebesar 0.55 mm. Sedangkan tegangan sisa aksial maksimal yang terjadi pada bagian *brace* adalah sebesar 144.83 MPa dan distorsi maksimalnya sebesar 1.15 mm.
 - Pada variasi pengelasan loncat, tegangan sisa aksial maksimal yang terjadi pada bagian *chord* adalah sebesar 143.71 MPa dan distorsi maksimalnya sebesar 0.51 mm. Sedangkan tegangan sisa aksial maksimal yang terjadi pada bagian *brace* adalah sebesar 135.13 MPa dan distorsi maksimalnya sebesar 0.99 mm.
3. Dilihat dari seluruh hasil tegangan sisa serta distorsi pada bagian *chord* dan *brace* sesuai dengan variasi urutan pengelasan, dapat disimpulkan bahwa urutan pengelasan loncat merupakan yang paling baik karena memiliki besar nilai maksimum tegangan sisa dan distorsi yang paling minimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Andika, Awang Dwi. 2009. **“Penentuan Urutan Pengelasan Terbaik pada Pengelasan Sambungan-T pada Sistem Perpipaan Kapal dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga”**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Anggara, Arga Setya. 2009. **“Penentuan Urutan Pengelasan Terbaik pada Pengelasan Pipa yang Menembus Pelat dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga”**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Anren, Yao; Zhen, Luo; Sansan, Ao. 2012. **“A CMOS Visual Sensing System for Welding Control and Information Acquirement in SMAW Process”**. China: Tianjin University.
- Fu, Ding-fa, Zhou; Chang-qing, Li; Can, Wang Guan; Li, Luo-xing. 2013. **“Effect of Welding Sequence on Residual Stress in Thin-Walled Octagonal Pipe-Plate Structure”**. China: Hunan University.
- Jang, G. C.; Chang, K.H.; Lee, C.H. 2007. **“Characteristics of the residual stress distribution in welded tubular T-joints”**. Korea: Chung-Ang University.
- Javadi, Y. and Sattari-Far, I. **“Influence of Welding Sequence on Welding Distortions in Pipes”** Iran: Amiskabir University of Technology.
- Logan, Daryl L. 2007. **“A First Course in The Finite Element Method - Fourth Edition”**. Platteville: University of Wisconsin
- Mirtaheiri, Masoud; Zakeri, Hossein Ali; Alanjari, Pejman; Assareh, Mohammad Amin. 2009. **“Effect of Joint Flexibility on Overall Behavior of Jacket Type Offshore Platforms”**. Iran: Toosi University of Technology.
- Putra, Yudhistira Perdana; Pintowantoro, Sungging; Sadino. **“Analisa Tegangan Sisa dan Distorsi pada Pengelasan Fillet T-Joint dengan Metode Elemen Hingga”**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Sitompul, Toni M. 2009. **“Pemakaian Elemen Grid (Balok Silang) untuk Menentukan Lendutan pada Balok (Studi Literatur)”**. Medan: Universitas Sumatera Utara.

Wiryosumarto H, Okumura T. 1994. **“Teknologi Pengelasan Logam”**. Jakarta: Pradnya Paramita.

BIODATA PENULIS



Novi Ananda Qurrota Akyun dilahirkan di Surabaya pada tanggal 3 November 1994, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SDN Klampis Ngasem I, Surabaya pada tahun 2000-2006. Kemudian melanjutkan pendidikan sekolah di SMPN 19 Surabaya pada tahun 2006-2009 dan SMAN 16 Surabaya pada tahun 2009-2012. Setelah lulus SMA pada tahun 2012, penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan seperti Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (HIMATEKLA), OCEANO (*Ocean Engineering Exhibition and Competition*), serta kegiatan-kegiatan sosial seperti IFI (*IECC for Indonesia*), dll. Pada bulan April tahun 2016 penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di perusahaan perintis dalam bidang klasifikasi dan inspeksi bangunan laut yaitu PT. Mitraartha Gema Pertiwi di Perak, Surabaya. Selama masa studi, penulis tertarik dalam bidang produksi bangunan lepas pantai sehingga dalam tugas akhir ini mengambil topik yang berhubungan dengan pengelasan struktur lepas pantai.

Kontak Penulis: novi.qurrota@gmail.com